

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



PROYECTO PARA OPTAR AL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL QUIMICO

**PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CARBÓN  
ACTIVADO DE CÁSCARAS DE NUECES,  
PARA APLICACIONES EN  
HIDROMETALURGIA DEL ORO**

**Marcelo Andrés León Martínez**

Profesores Guía

Carlos Carlesi Jara

María Victoria García de Pablo

2012

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL  
QUÍMICO

**PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO  
DE CÁSCARAS DE NUECES, PARA APLICACIONES  
EN HIDROMETALURGIA DEL ORO**

**Alumno Memorista:**

**Marcelo Andrés León Martínez**

Profesores Guías:

Carlos Carlesi Jara

María Victoria García de Pablo

“Solo me queda agradecer, solo me queda dar gracias a las personas que me han acompañado durante todos estos años de mi vida, a los que están en el recuerdo lejano de una convivencia pasada y a los que hasta el día de hoy me entregan su cariño y afecto”

Un agradecimiento muy especial a mi familia, obra de grandes escultores de amor y tolerancia, de paciencia y humildad, de razón y poesía, para ustedes dos que siempre han estado insistiendo en mi felicidad y en ver a su hijo ingeniero, con esa humildad que se encuentra siempre en las personas que esperan tranquilas a los suyos y viven en base a los valores de una familia extraordinaria.

Un agradecimiento a todos mis profesores que me han forjado como profesional, en base a triunfos y fracasos, con más aciertos que inseguridades. Al profesor Carlos, por su dedicación y apoyo en la confección final de mi memoria, a la profesora María Victoria, por todos sus conocimientos, sus valores y su apoyo en investigación, al profesor Jaime especialmente, por su amistad, capacidad profesional y humana, ejemplo que ha sido invaluable en todos estos años de universidad.

Un agradecimiento a todos mis amigos de universidad, a mi grupo de música "Tim Motel", actualmente todos ingenieros, al CCAA de ICQ, a las ayudantías, al profesor Armando que con su filosofía me hizo entender mejor la función de la universidad en una persona, y por ultimo a ti Claudia, por ser hoy en día, la que abraza todos mis esfuerzos y proyecta todos mis sueños.....

## 1.1 Resumen del Proyecto

El presente proyecto: FACTIBILIDAD TÉCNICA – ECONÓMICA DE UNA PLANTA DE CARBÓN ACTIVADO DE CÁSCARAS DE NUECES, PARA APLICACIONES EN HIDROMETALURGIA, ha desarrollado los capítulos de balances de materia y energía, así como el diseño mecánicos de equipos principales y auxiliares, en base a las pruebas experimentales de adsorción de aurocianuro en carbón activado de cáscaras de nueces vía física, desarrolladas a escala laboratorio que dieron la factibilidad técnica para el desarrollo de una evaluación económica de esta planta de producción a escala industrial.

En esta evaluación económica del proyecto, se considero una planta nueva, donde se requiere la compra del terreno, preparación de este y su urbanización, además se consideraron dos métodos distintos para determinar el capital de inversión propio y uno al 100% financiado, donde el primero considera el cálculo del capital inicial a través del método de los “Porcentajes” y el segundo más conservador a través del método de “Lang y Chilton”, a su vez ambos considerando como base de cálculo el costo total de los equipos principales del proceso productivo.

Para efectos de considerar solo un caso en resumen, nos referiremos al método más conservador (Lang y Chilton), el cual supone una inversión inicial de USD 5.491.673, variando por sobre un 44% la inversión supuesta por el método de los Porcentajes. Tomando un 100% de capital propio, nos entrega un valor actual neto (VAN), sobre los USD 270.000, obteniendo una tasa interna de retorno (TIR), de 21%, con lo cual nos sugiere un escenario conservador positivo, siendo el VAN positivo y entregando un TIR levemente mayor a la tasa de costo de capital, asumida en un 20%, sin pérdidas del ejercicio anterior en el flujo de caja y con un retorno de inversión al quinto año de ejercicio. Tomando un financiamiento de un 100% del

capital de inversión, nos entrega un valor actual neto (VAN), sobre los USD 1.023.061, obteniendo una tasa interna de retorno (TIR), de 33%, con lo cual nos sugiere un escenario conservador positivo, siendo el VAN positivo y entregando un TIR mayor a la tasa de costo de capital, asumida en un 20%, con pérdidas del ejercicio anterior en el flujo de caja y con un retorno de inversión al séptimo año de ejercicio.

Se considera el negocio rentable desde el punto de vista financiero, otorgando una mayor rentabilidad al aporte de un capital de inversión mixto, siendo lo más común un 20% de inversión y 80% de financiamiento. Para mayor detalle acerca del análisis económico ver el **Capítulo X**, de “Evaluación Económica”.

La planta de producción de carbón activado se ubicará en la región Metropolitana, en la localidad de Buin, cerca de las principales empresas nogaleras en Chile, para el abastecimiento de las materias Primas y suministros, cercana a los mercados de consumidores, en un clima estable de baja oscilación térmica y humedad, para el correcto almacenamiento de los productos, además contar con la disponibilidad de servicios para la planta tales como: eléctricos, combustible y agua industrial, disponibilidad de empresas de ingeniería y servicios afines, para reparar y/o asesorar de manera rápida los inconvenientes producidos en faena. Además se cuenta con la existencia de carreteras, ferrocarriles y la cercanía a puertos de embarque.

## INDICE GENERAL

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPÍTULO I - Alcances del Proyecto .....</b>                            | <b>1</b>  |
| 1.1 Objetivo General .....   | 2         |
| 1.2 Alcances del Proyecto.....   | 4         |
| 1.2.1 Antecedentes .....   | 4         |
| 1.2.2 Datos Económicos.....  | 7         |
| 1.3 Validación Experimental.....   | 10        |
| 1.3.1 Antecedentes Generales .....   | 10        |
| 1.3.2 Primera Etapa Investigación.....                                     | 11        |
| 1.3.3 Objetivos Específicos .....  | 11        |
| 1.3.4 Equipo de Activación Física .....                                    | 12        |
| 1.3.5 Segunda Etapa Investigación Adsorción en Minicolumnas .....          | 16        |
| 1.3.6 Objetivos Específicos .....  | 16        |
| 1.4 Planificación del Proyecto .....                                       | 19        |
| 1.5 Resumen Capítulo I .....   | 20        |
| 1.6 Bibliografía .....   | 21        |
| <br>   |           |
| <b>CAPÍTULO II - El Carbón Activado .....</b>                              | <b>22</b> |
| 2.1 El Carbón Activado .....   | 23        |
| 2.2 Versatilidad del Carbón Activado .....                                 | 27        |
| 2.3 Principales Tipos de Activación .....                                  | 28        |
| 2.4 Tipos de Carbones Activados .....                                      | 31        |
| 2.4.1 Clasificación de Acuerdo al Tamaño .....                             | 32        |
| 2.4.2 Geometría del Poro .....   | 34        |
| 2.5 Purificación en Fase Líquida.....                                      | 36        |
| 2.5.1 La Ecuación de Freundlich .....                                      | 36        |
| 2.5.2 Variables que Afectan la Adsorción en Fase Líquida .....             | 39        |
| 2.5.3 Pureza de un Carbón (Cenizas) .....                                  | 40        |
| 2.6 Purificación en Fase Gaseosa .....                                     | 42        |
| 2.6.1 Parámetros de Trabajo en Carbones Activos en Fase Gas .....          | 42        |
| 2.6.2 Aplicaciones para Fase Gaseosa .....                                 | 43        |
| 2.7 Carbón Activado de Cáscaras de Nueces .....                            | 47        |
| 2.7.1 Características Generales .....                                      | 47        |
| 2.7.2 Mercado del Carbón Activado de Cáscaras de Nueces .....              | 48        |
| 2.8 Resumen Capítulo II .....  | 51        |
| 2.9 Bibliografía .....   | 52        |
| <br>   |           |
| <b>CAPÍTULO III - Aplicaciones del Carbón Activado .....</b>               | <b>53</b> |
| 3.1 Aplicación del Carbón Activo en Industria de Alimentos y Bebidas ..... | 54        |
| 3.2 Adsorbatos en Industria de Alimentos y Bebidas.....                    | 55        |
| 3.2.1 Compuestos Orgánicos .....   | 55        |
| 3.2.2 Compuestos Inorgánicos.....  | 57        |
| 3.3 Selección del Carbón Activado Granular (CAG) .....                     | 60        |
| 3.4 Modos de Operación y Configuración.....                                | 62        |
| 3.4.1 Flujo Ascendente y Descendente .....                                 | 62        |

|   |  |            |
|---|--|------------|
| 3.4.2   | Flujo Por Gravedad y Flujo a Presión.....  | 63         |
| 3.5   | Configuración de Adsorbedores de CAG .....                                       | 65         |
| 3.6   | Cama Pulsante .....  | 68         |
| 3.7   | Aplicación del Carbón Activo en la Minería.....                                  | 69         |
| 3.8   | Fenómeno de Adsorción de Cationes.....   | 72         |
| 3.9   | Adsorción de Oro en Carbón Activado.....   | 73         |
| 3.9.1   | Cinética de Adsorción.....   | 73         |
| 3.9.2   | Factores que Afectan la Adsorción.....   | 74         |
| 3.9.3   | Selectividad .....   | 76         |
| 3.10  | Elución.....   | 77         |
| 3.11  | Aspectos de Ingeniería .....   | 79         |
| 3.12  | Aplicación del Carbón Activado en la Adsorción de Oro.....                       | 83         |
| 3.13  | Resumen Capítulo III .....   | 84         |
| 3.14  | Bibliografía.....  | 85         |
| <b>CAPÍTULO IV - Estimación Materia Prima.....</b>              |  | <b>86</b>  |
| 4.1   | Introducción .....   | 87         |
| 4.2   | Alcances del Estudio Económico .....   | 88         |
| 4.3   | Estadística Mercado Nueces de Nogal .....  | 90         |
| 4.3.2   | Variedades de Nueces Cultivadas en Chile .....                                   | 91         |
| 4.4   | Mercado Global de Nueces de Nogal Sin Cáscaras .....                             | 93         |
| 4.4.1   | Producción Mundial Estimada de Nueces con Cáscaras .....                         | 93         |
| 4.4.2   | Estimación Oferta de Nueces Sin Cáscaras.....                                    | 97         |
| 4.5   | Mercado Nacional Nueces de Nogal Sin Cáscaras .....                              | 98         |
| 4.5.1   | Producción .....   | 98         |
| 4.5.2   | Comercio Exterior.....   | 99         |
| 4.6   | Análisis del Producto Nueces de Nogal Enteras Sin Cáscara, Frescas o Secas ..... | 101        |
| 4.7   | Análisis de Precios de Cáscaras de Nueces.....                                   | 105        |
| 4.7.1   | Precio Materia Prima .....   | 105        |
| 4.7.2   | Información Empresas Proveedoras .....   | 105        |
| 4.8   | Resumen Capítulo IV.....   | 107        |
| 4.9   | Bibliografía .....   | 108        |
| <b>CAPÍTULO V - Estudio Económico del Carbón Activado .....</b> |  | <b>109</b> |
| 5.1   | Alcances del Estudio.....  | 110        |
| 5.1.1   | ¿Oportunidad de Negocio? .....   | 111        |
| 5.1.2   | Propiedades de los Carbones Activados.....                                       | 111        |
| 5.2   | Competencia e Industria Internacional.....                                       | 113        |
| 5.2.1   | Mercado Internacional.....   | 113        |
| 5.2.2   | Principales Productores y Exportadores de Carbón Activado .....                  | 116        |
| 5.2.3   | Principales Consumidores de Carbón Activado .....                                | 120        |
| 5.2.4   | Principales Importadores de Carbón Activado .....                                | 122        |
| 5.3   | Competencia e Industria Nacional .....   | 125        |
| 5.3.1   | Mercado del Carbón Activo en Chile .....   | 125        |
| 5.3.2   | Productores de Carbón Activado.....  | 125        |
| 5.4   | Análisis de la Demanda .....   | 127        |



|  |  |            |
|--|--|------------|
| 5.4.1  | Características de los Demandantes.....                  | 127        |
| 5.4.2  | Características de los Demandantes.....                  | 127        |
| 5.5  | Análisis de la Oferta.....                               | 137        |
| 5.5.1  | Caracterización de los Ofertantes.....                   | 137        |
| 5.5.2  | Estimación de la Oferta.....                             | 137        |
| 5.6  | Análisis de Precios.....                                 | 141        |
| 5.6.1  | Precios del Producto en el Mercado Chileno.....          | 141        |
| 5.6.2  | Precios del Producto en el Mercado Internacional.....    | 143        |
| 5.7  | Resumen Capítulo V.....                                  | 145        |
| 5.8  | Bibliografía.....  | 146        |
| <b>CAPÍTULO VI - Selección del Método de Producción.....</b> |  | <b>147</b> |
| 6.1  | Introducción.....  | 148        |
| 6.2  | Estado del Arte.....                                     | 149        |
| 6.3  | Tipos de Activación.....                                 | 151        |
| 6.3.1  | Activación Química.....                                  | 151        |
| 6.3.2  | Activación Térmica.....                                  | 153        |
| 6.4  | Selección del Método de Producción.....                  | 156        |
| 6.5  | Tecnologías de Carbonización.....                        | 158        |
| 6.6  | Procesos de Obtención de Carbón Activado.....            | 159        |
| 6.6.1  | Memoria Descriptiva del Proceso de Activación.....       | 163        |
| 6.6.2  | Proceso Definitivo de Activación Física.....             | 165        |
| 6.7  | Estudio Legal.....                                       | 170        |
| 6.8  | Selección de Materia Prima.....                          | 174        |
| 6.8.1  | Propiedades Físico – Químicas Materia Prima.....         | 174        |
| 6.8.2  | Resultados Activación Física Cáscaras de Nueces.....     | 179        |
| 6.8.3  | Resultados Experimentales Mini Columna de Adsorción..... | 182        |
| 6.9  | Resumen Capítulo VI.....                                 | 186        |
| 6.10   | Bibliografía.....  | 187        |
| <b>CAPÍTULO VII - Balances de Materia y Energía.....</b>     |  | <b>189</b> |
| 7.1  | Introducción.....  | 190        |
| 7.2  | Dimensión de la Planta.....                              | 191        |
| 7.2.1  | Capacidad Instalada de la Planta.....                    | 191        |
| 7.3  | Diagrama Básico del Proceso.....                         | 193        |
| 7.4  | Balances de Materia.....                                 | 201        |
| 7.4.1  | Etapa de Pirolisis: Horno Rotatorio.....                 | 203        |
| 7.4.2  | Etapa de Pirolisis: Torre Absorción.....                 | 205        |
| 7.4.3  | Etapa de Pirolisis: Inter. Calor.....                    | 206        |
| 7.4.4  | Etapa de Pirolisis: Consumo Combustibles.....            | 208        |
| 7.4.5  | Etapa de Pirolisis: Balance Global de Materia.....       | 210        |
| 7.4.6  | Etapa de Activación: Horno Rotatorio.....                | 211        |
| 7.4.7  | Etapa de Activación: Torre Absorción.....                | 213        |
| 7.4.8  | Etapa de Activación: Inter. Calor.....                   | 214        |
| 7.4.9  | Etapa de Activación: Consumo Combustibles.....           | 215        |
| 7.4.10   | Etapa de Activación: Balance Global de Materia.....      | 217        |
| 7.5  | Balances de Energía.....                                 | 220        |

|  |   |            |
|--|---|------------|
| 7.5.1  | Etapa de Pirolisis: Horno Rotatorio.....                  | 221        |
| 7.5.2  | Etapa de Pirolisis: Inter. de Calor .....                 | 224        |
| 7.5.3  | Etapa de Pirolisis: Enfriador .....                       | 226        |
| 7.5.4  | Etapa de Pirolisis: Torre de Absorción .....              | 228        |
| 7.5.5  | Etapa de Activación: Horno Rotatorio.....                 | 231        |
| 7.5.6  | Etapa de Activación: Inter. de Calor .....                | 236        |
| 7.5.7  | Etapa de Activación: Enfriador .....                      | 238        |
| 7.5.8  | Etapa de Activación: Torre de Absorción .....             | 240        |
| 7.6  | Resumen Capítulo VII .....                                | 243        |
| 7.7  | Bibliografía .....  | 244        |
| <b>CAPÍTULO VIII - Selección y Diseño de Equipos .....</b> |   | <b>246</b> |
| 8.1  | Introducción .....  | 247        |
| 8.2  | Equipos Auxiliares .....                                  | 248        |
| 8.2.1  | Pozo Colector <b>(PC – 1)</b> .....                       | 248        |
| 8.2.2  | Estanques de Procesos.....                                | 251        |
| 8.2.3  | Chancador de Mandíbula <b>(E – 1)</b> .....               | 260        |
| 8.2.4  | Dosificadores <b>(E – 2)</b> .....                        | 262        |
| 8.2.5  | Molino Raymond <b>(E – 3)</b> .....                       | 270        |
| 8.2.6  | Cargador Frontal <b>(E – 4)</b> .....                     | 272        |
| 8.3  | Bodegas, Silos y Correas transportadoras.....             | 274        |
| 8.3.1  | Silo Almacenamiento Carbón Natural <b>(SIL – 1)</b> ..... | 274        |
| 8.3.2  | Silo Almacenamiento Carbón Activo <b>(SIL – 2)</b> .....  | 289        |
| 8.3.3  | Correas Transportadoras .....                             | 292        |
| 8.4  | Bombas de Servicio .....                                  | 303        |
| 8.4.1  | Bombas <b>(B1 – B5)</b> .....                             | 303        |
| 8.5  | Equipos Principales.....                                  | 312        |
| 8.5.1  | Caldera <b>(CA – 1)</b> .....                             | 312        |
| 8.5.2  | Horno Rotatorio <b>(H – 1)</b> .....                      | 316        |
| 8.5.3  | Intercambiador de Calor <b>(IC – 1)</b> .....             | 326        |
| 8.5.4  | Torre de Absorción <b>(TR – 1)</b> .....                  | 337        |
| 8.5.5  | Enfriador Productos Horno Rotatorio <b>(ES – 1)</b> ..... | 348        |
| 8.6  | Resumen Capítulo VIII .....                               | 353        |
| 8.7  | Bibliografía .....  | 354        |
| <b>CAPÍTULO IX - Ubicación y Organización.....</b>         |   | <b>356</b> |
| 9.1  | Ubicación de la Planta .....                              | 357        |
| 9.1.1  | Factores Principales .....                                | 357        |
| 9.1.2  | Mapa Referencial Ubicación de Planta en Buin .....        | 361        |
| 9.2  | Sistema de Trabajo .....                                  | 362        |
| 9.2.1  | División del Proceso Productivo .....                     | 362        |
| 9.2.2  | Jornada Laboral.....                                      | 363        |
| 9.2.3  | Cálculo del Número de Operarios .....                     | 365        |
| 9.2.4  | Lay - Out de la Planta.....                               | 367        |
| 9.2.5  | Superficie Total.....                                     | 370        |
| 9.3  | Lay - Out de la Planta .....                              | 371        |

|  |                           |            |
|--|---------------------------|------------|
| 9.4  | Resumen Capítulo IX.....  | 372        |
| 9.5  | Bibliografía.....         | 373        |
| <b>CAPÍTULO X - Evaluación Económica .....</b> |                           | <b>374</b> |
| 10.1   | Introducción .....        | 375        |
| 10.2   | Desarrollo.....           | 376        |
| 10.3   | Resumen Capítulo X.....   | 397        |
| 10.4   | Bibliografía.....         | 398        |
| <b>CAPÍTULO XI - Conclusiones.....</b>         |                           | <b>399</b> |
| 11.1   | Conclusiones .....        | 400        |
| 11.1.1   | Estudio Experimental..... | 400        |
| 11.1.2   | Análisis Económico .....  | 401        |

***CAPÍTULO I***  
***- Alcances del Proyecto -***

## 1.1 Objetivo General

*Se busca desarrollar la FACTIBILIDAD TÉCNICA – ECONÓMICA DE UNA PLANTA DE CARBÓN ACTIVADO DE CÁSCARAS DE NUECES, PARA APLICACIONES EN HIDROMETALURGIA*, en base a este objetivo podremos dar análisis a las siguientes etapas de proyecto que contempla de manera específica los parámetros tales como:

- ☑ **Validación Experimental:** En este punto se validaran las propiedades físico – químicas del carbón de cáscaras de nueces, para poder comparar sus ventajas en relación a los carbones activos comerciales. Validar la capacidad de adsorción de Aurocianuro en el Carbón Activo de Cáscaras de Nueces.
- ☑ **Análisis de Mercado de los Carbones Activos (Oferta y Demanda):** Podremos en base a este estudio, saber la oferta internacional y la demanda por parte de las empresas chilenas a través del tiempo, el tipo y formato de los carbones activos empleados en la industria minera, conocer especialmente las ventajas comparativas con respecto a los carbones importados para las tareas en la recuperación de oro.
- ☑ **Elección, Disponibilidad y Costos de las Materias Primas:** La obtención del precursor en cantidades adecuadas y bajo costo es de vital importancia para dar mayor rentabilidad al proyecto, se debe lograr un suministro constante a través del tiempo, contando con alternativas de abastecimiento tanto dentro como fuera del país. El máximo disponible de cáscaras de nueces de los productores de nueces en Chile asegura una producción necesaria para cubrir la demanda de carbón activo por parte de las faenas minera, como por ejemplo procesos de flotación de minerales, tratamiento de aguas industriales, purificación de electrolitos, recuperación de metales

disueltos en soluciones acuosas, como modificador del potencial redox, como catalizador, etc. El carbón activado se emplea además para recuperar el oro contenido en soluciones originadas en diversos procesos de cianuración, entre los que figuran actualmente el de lixiviación en pilas, carbón en pulpa (CIP) y carbón en lixiviación (CIL).

- ☑ **Elección del Proceso:** Seleccionar un proceso eficiente que tienda a minimizar los costos operacionales y de inversión, donde podamos analizar los ya existente modificando y maximizando los puntos de operación principales.
  
- ☑ **Evaluación Económica del Proyecto:** Los resultados finales del proyecto concluirán al determinar sus indicadores de rentabilidad, TIR y VAN específicamente variando su sensibilidad a los costos de la materia prima, influencias del precio del petróleo, variación del porcentaje de financiamiento, etc.

## **1.2 Alcances del Proyecto**

### **1.2.1 Antecedentes**

El presente proyecto detalla el trabajo desarrollado para determinar la Factibilidad Técnica – Económica de una Planta de Producción de carbón activado, donde la materia prima a usar serán cáscaras de nueces y la aplicación se evaluará en el campo de la hidrometalurgia, en la extracción de aurocianuro.

El proyecto considera establecer un mercado amplio para nuestro producto, esto en cuanto a las distintas aplicaciones del carbón activado a nivel nacional tales como: industria de alimentos, minería, tratamiento de aguas, siendo estas las más importantes.

En Chile, el mercado del carbón activado ha presentado un importante crecimiento dada sus múltiples aplicaciones y beneficios en diferentes áreas. Actualmente en Chile no existe un gran conocimiento acerca de la fabricación de este producto, sin embargo la cantidad de estudios e investigaciones a nivel mundial presenta un gran crecimiento en los últimos años. Actualmente existe en Chile una empresa, la cual produce 500 toneladas anuales de carbón activado fabricado a partir de cuercos de durazno. Esta es Petrochil S.A. y se ubica en la VI Región. Esta producción representa el 33% del consumo total interno del país, siendo el 67% restante importado desde el exterior por Petrochil y otras empresas que comercializan este producto.

En Latinoamérica durante el año 2008 los niveles de importación de carbón activado alcanzaron las 20.000 toneladas, lo que equivale a un valor de importaciones de aproximadamente 37,6 millones de US\$ CIF, presentando un crecimiento cercano al 13% con respecto al año 2006. Principalmente el origen del carbón activado importado por los principales países de Latinoamérica es México, EE.UU., China y países europeos. Países como Perú, donde existe un gran nivel de actividad en la minería aurífera, representan potenciales clientes a quienes ofrecer el

carbón activado que será producido, con quienes se deberá aprovechar la ventaja que representa la distancia entre Chile y estos países. Por otra parte, se deberán ofrecer precios competitivos de manera de lograr entrar a los diferentes mercados.

En Chile existe materia prima disponible para la fabricación de carbón activado. Esta materia prima son las cáscaras de nueces, las cuales se encuentran entre la V y la VI Región del país. En el presente trabajo se evaluará a nivel de prefactibilidad la instalación de una planta de carbón activado que permita satisfacer parte de la demanda en Chile de los consumidores que importan este producto desde el exterior y de exportar a países cercanos, principalmente a aquellos donde existe un gran nivel de actividad minera de oro y plata, y un gran nivel de actividad industrial.

Nuestro producto abarcará los mercados de Minería en Chile que corresponde al 23% del mercado de importaciones de CA y el de Bebidas, Cerveza y Jugos, que corresponden al 27% de las importaciones, juntos corresponden al 50% del mercado de importaciones de CA a nivel nacional, lo cual es más de 673 (Ton) de carbón activado al año.

Para los procesos de adsorción en la industria de alimentos y bebidas, los estándares son altos y corresponden a carbones activados físicamente, para los procesos de purificación y adsorción de impurezas, estos carbones utilizados presentan adsorción en fase líquida lo cual sugiere tener filtros apropiados de CA en Polvo. El grado de adsorción de estos carbones se verifica de forma analítica la cual corresponde a analizar sus capacidades de adsorción en su estructura porosa definitiva, esto se ha realizado a nivel de laboratorio determinando la capacidad de adsorción de la macroporosidad (Índice de Azul de Metileno) y mesoporosidad (Índice de Yodo) del carbón obtenido, dando resultados comparativamente superiores o iguales en comparación a los carbones comerciales utilizados en esta industria alimenticias. Estos se demuestran en los capítulos posteriores donde se dará cuenta de las metodologías experimentales así como sus resultados y su posterior comparación.



Para el caso de adsorción en los procesos de hidrometalurgia, particularmente en la extracción de oro desde los procesos de lixiviación, se determina la capacidad de adsorción del carbón con los índices antes señalados (Índice de Azul de Metileno y Yodo), estos sin embargo no serán suficientes para comparar de forma cuantitativa nuestro carbón con los utilizados en la actualidad para estas tareas, ya que los carbones comerciales en especial el de cáscaras de coco posee propiedades de adsorción elevadas con una excelente carga de material y elución o recuperación, además de poseer excelentes propiedades mecánicas, que lo hacen reutilizable. Se desarrollarán experiencias que impliquen el paso de una solución de aurocianuro a través de un lecho de carbón activo, para determinar y comparar la adsorción de este y su posterior elución.

El CA de cáscaras de nueces tendrá posibles ventajas comparativas con sus símiles comerciales. En los siguientes puntos a tratar se encontrarán los antecedentes de validación experimental.

El proyecto en sus primeros capítulos II y III, entrega los fundamentos teóricos esenciales para lograr entender de manera más didáctica los procesos de adsorción fase líquida y gaseosa por parte del carbón activo en general, señalando los principales métodos de activación y aplicaciones más importantes en la industria Chilena, tomando especial importancia en el capítulo III, el papel del carbón Activo en la recuperación de oro de las aguas lixiviadas y cianuradas de los procesos mineros actuales de recuperación de este valioso metal, entregando datos acerca de estudios cinéticos y cantidades aproximadas de eficiencia del carbón usado actualmente, así también se darán datos esquemáticos acerca de los procesos principales ocupados actualmente en la extracción de oro, como son los procesos de adsorción de Columnas y Pulpa, así como el comportamiento físico – químico de este en el carbón activado. El proyecto expone en sus primeros capítulos un diagnóstico general acerca de los principales carbones activos presentes en estudios científicos, con aplicaciones específicas como en la extracción de cationes en solución.

En una primera parte se detalla las características generales de los carbones activados hechos por el hombre y de los cuales el desarrollo científico a

caracterizado y catalogado según su procedencia mineral o vegetal, junto con estas descripciones generales, se detallan los datos obtenidos desde laboratorio, correspondientes al estudio fisicoquímico de las cáscaras de nueces procedentes de nogales de producción industrial.

Las Cáscaras fueron sometidas a diferentes análisis tales como: pruebas de porcentaje de humedad, materia relativa fruto - cáscara, calcinación, pirolisis, activación física, junto con esto se determinó la capacidad de adsorción de yodo y azul de metileno.

### **1.2.2 Datos Económicos**

La cantidad cosechada para el año 2007 de nueces en Chile es más 22 mil toneladas al año (Fuente: Revista Agro Económico), de las cuales el 10% queda para el mercado local y el resto se exporta, la producción Chilena de nueces inició un crecimiento sostenido desde 2003 en adelante, duplicándose en estos últimos 5 años. Esto se debería a un mejor manejo técnico y a la plantación de variedades con mayor potencial productivo, como Chandler y Howard. Los incrementos en la demanda de este producto y la oferta existente en Chile hacen estimar que para este año 2008 la producción debiera ser de 26.600 toneladas y llegar a las 38.300 toneladas en el 2010.

Al tomar en cuenta que la cantidad de nueces sin cáscaras exportadas solamente, corresponden aproximadamente para el año 2007 a más de 7.000 toneladas y los pronósticos indican que seguirá en aumento, se piensa que se tendrá una cantidad cercana a estas exportaciones, de cáscaras de nueces disponibles como materia prima, debido a la relación de Fruto - Cáscara cercana a la unidad.

En resumen se puede tener como materia prima para el proyecto una cantidad disponible de más de 7.000 toneladas de cáscaras de nueces al año, a

contar del 2007, donde podrá ir creciendo esta cifra debido a la excelente proyección que en la actualidad vive este rubro.

**Demanda carbón Activo en la Minería:** Ya para el año 2002 las importaciones de carbón activo se normalizaron y en el año 2007, las importaciones llegaron a 1.344.621 (KN) que corresponden a compras por US\$ 2.380.500, valores (CIF).

Desde los años 2002 hasta el 2007 la importación de carbón activo promedio anual ha sido de US\$ 2.040.230 y de 1.336.949 (KN). Valores (CIF). De estas importaciones el 23% se destinan a minería, entonces tenemos que:

- Aproximadamente 310 (Ton) de carbón activado se adjudican a minería, tomadas desde las importaciones de carbón activado promedio entre el año 2002 - 2007 y que corresponden a un 23% del total importado para este rubro.
- Aproximadamente 363 (Ton) de carbón activado se adjudican a la industria alimenticia de bebidas, cerveza y jugos. que corresponden a un 27% de las importaciones de CA.
- Aproximadamente 677 (Ton) de carbón activado se adjudican a otras industrias que se detallan en el **Capítulo V**, Estudio Económico. Estas representan el 50% restante de las importaciones de CA.

**Disponibilidad de materia prima (cáscaras de nueces):** A partir del 2007 se puede contar con exportaciones de nueces sin cáscaras de más de 7.056 toneladas, así mismo se podría obtener una cantidad similar de cáscaras de nueces remanentes de la industria del nogal chilena.

Se necesita contar para el primer año con 1.350 toneladas de carbón activado llegando a 1.807 toneladas al décimo año de producción, si la tasa de

crecimiento es de 2,7% anual, tasa que representa la mitad del incremento proyectado de las importaciones hechas a Chile entre los años 2002 y 2007 que arroja un 5,4%. Ver **Capítulo V**, acerca de la conducta de las importaciones de CA. a Chile.

La planta será calculada en base a su máxima producción, la cual fue estimada en 1.716 (Ton/Año) esta cifra requiere contar con una cantidad de volumen de cáscaras de nueces de 6.452 (Ton), donde la etapa de pirolisis cuenta con una eficiencia mínima del 28% y la de activación por vía física con vapor de agua con una eficiencia mínima aproximada del 95%, esta información ha sido corroborada bibliográfica.

La planta podrá abastecer los sectores de minería, Alimentos comenzando con una producción aproximada para el 2010 de 1.350 (Ton/Año) la cual al décimo año producirá sobre las 1.716 (Ton) de carbón activado de cáscaras de nueces. Así la industria de Cervezas, Jugos y Bebidas, las cuales representan cerca del 28% de las importaciones de CA y de Minería que representan un 23% quedaran abastecidas.

## **1.3 Validación Experimental**

### **1.3.1 Antecedentes Generales**

La cinética de adsorción de oro en carbón activado ha sido extensamente investigada y se han propuesto numerosos modelos al respecto. La validez de estos modelos ha sido evaluada en diversos estudios midiendo la concentración de oro en la solución y en el carbón.

Los modelos cinéticos generalmente pueden ser clasificados como empíricos, fenomenológicos ó una combinación de los dos. En el primer caso, se ajustan los datos experimentales a una forma funcional simple, que no necesita tener una base teórica. Los modelos fenomenológicos, por otro lado, toman conceptos fisicoquímicos detallados para describir el proceso. Sin embargo, esto puede llevar a modelos complejos que pueden ser difíciles de aplicar en la práctica.

Los modelos que podrán se evaluados serán aquellos denominados empíricos. Estos modelos están sujetos a limitaciones ya sea considerando un adecuado ajuste o en términos de lapso de tiempo sobre el cual ellos describen en forma precisa la concentración de oro en solución. El objetivo de considerar estos modelos empíricos será evaluar los diferentes modelos de adsorción existentes en la literatura en orden a establecer las condiciones mas apropiadas para su aplicación.

Las tecnologías relacionadas con el control de contaminantes y la recuperación selectiva de metales, requieren materiales adsorbentes específicos entre los cuales los Carbones Activados son los más versátiles por sus propiedades, determinadas por los métodos de activación y la naturaleza de la materia prima, ya que ningún carbón puede utilizarse universalmente ni es eficaz para todos los fines. Estas aplicaciones van, desde la recuperación de moléculas grandes, conteniéndolas en su interior, hasta la adsorción y almacenamiento de gases.

El propósito de este trabajo será obtener carbón activado a partir de cáscaras de nueces con posibilidad de usarlo en hidrometalurgia en la extracción de aurocianuro. Para alcanzar este fin, se analizará el precursor antes de someterlo a los procesos de activación por vía física, luego se caracterizará el material obtenido y se determinará las condiciones para lograr un producto con las mejores características adsorptivas. Finalmente se evaluará su aplicación en un proceso de recuperación de oro en un ensayo de laboratorio en lecho fluidizado, cuyo propósito será determinar la velocidad y capacidad de adsorción de oro a partir de una solución artificial de aurocianuro, proveniente de la lixiviación de relaves de oro, obtenidos desde las faenas mineras de minera el Indio - Chile.

### **1.3.2 Primera Etapa Investigación**

El objetivo general de esta primera etapa es cuantificar los fenómenos físico - químicos involucrados en la pirólisis y activación con vapor de agua de las cáscaras de nueces. Se realizará un estudio cuantitativo y bibliográfico acerca de la composición elemental de las cáscaras de nueces, para determinar que tipo de elementos constituyen este desecho industrial. A su vez poder determinar la composición del carbón activado, productos químicos (RILes) y gases de pirólisis y Activación. De esta manera se podrá comparar el carbón activo de nueces, tanto con sus homólogos comerciales, como de nuevos precursores avalados en estudios científicos.

### **1.3.3 Objetivos Específicos**

1. Determinación de la Relación másica entre cáscara – fruto y estructuras internas - fruto, de muestras de cáscaras de nuez.

2. Determinación de Humedad de las cáscaras de nueces, carbón activado y no activado de cáscaras de nuez.
  3. Eficiencia del carbón y del carbón activo de cáscaras de nuez.
  4. Estudio de Análisis Elemental de Cáscaras de Nueces, Carbón Obtenido, RILes, Gases de Pirólisis y Activación.
  5. Determinación de adsorción de la superficie activada del carbón activado y no activado, (CAP) y (CAG).
- Aplicación Número de Yodo: Norma ASTM D4607.
  - Aplicación de índice de Azul de Metileno.

### **1.3.4 Equipo de Activación Física**

El sistema experimental de pirólisis y activación permite obtener el material carbonizado y su posterior activación por intermedio de vapor de agua, la etapa de pirolisis se efectuara en una atmósfera inerte de Nitrógeno.

#### **1. Sección Experimental: Descripción del Montaje Experimental**

Un esquema de la configuración experimental se muestra en la **Figura 1.1 y 1.2**. El reactor experimental es creado para la realización de estudios sobre la producción de carbón activado. El reactor consistirá en un cilindro de acero inoxidable

de 20 cm. de diámetro y 30 cm. de longitud. Este reactor está inmerso en otro tubo calentado eléctricamente de acero inoxidable, de diámetro 35 cm. La temperatura del reactor experimental se puede variar de ambiente a 550 ° C, la cual esta dentro de los rangos de activación física industrial con vapor de agua.

El reactor estará equipado con una malla perforada de acero inoxidable el cual servirá como distribuidor de gas, el cual tendrá 4 mm. de diámetro en los agujeros, por el cual pasaran los distintos gases tanto para la generación de la atmósfera inerte como para el procesos de activación y una malla superior similar para la evacuación de estos.

Una malla de acero inoxidable de tamaño 100 micrones, para que retenga a las partículas de carbón CAP y CAG, será instalada dentro del reactor para bañar completamente a las muestras de carbón cargadas, producto del paso de los gases, esta será removible una vez finalizado el experimento, con un diámetro de 20 cm y colocada a 10 cm. del fondo y 10 cm de la salida. La parte superior del reactor se ampliara para evitar el traslado de las partículas más pequeñas de carbón.





## Diagrama del Proceso de Carbonización y Activación Física en laboratorio:

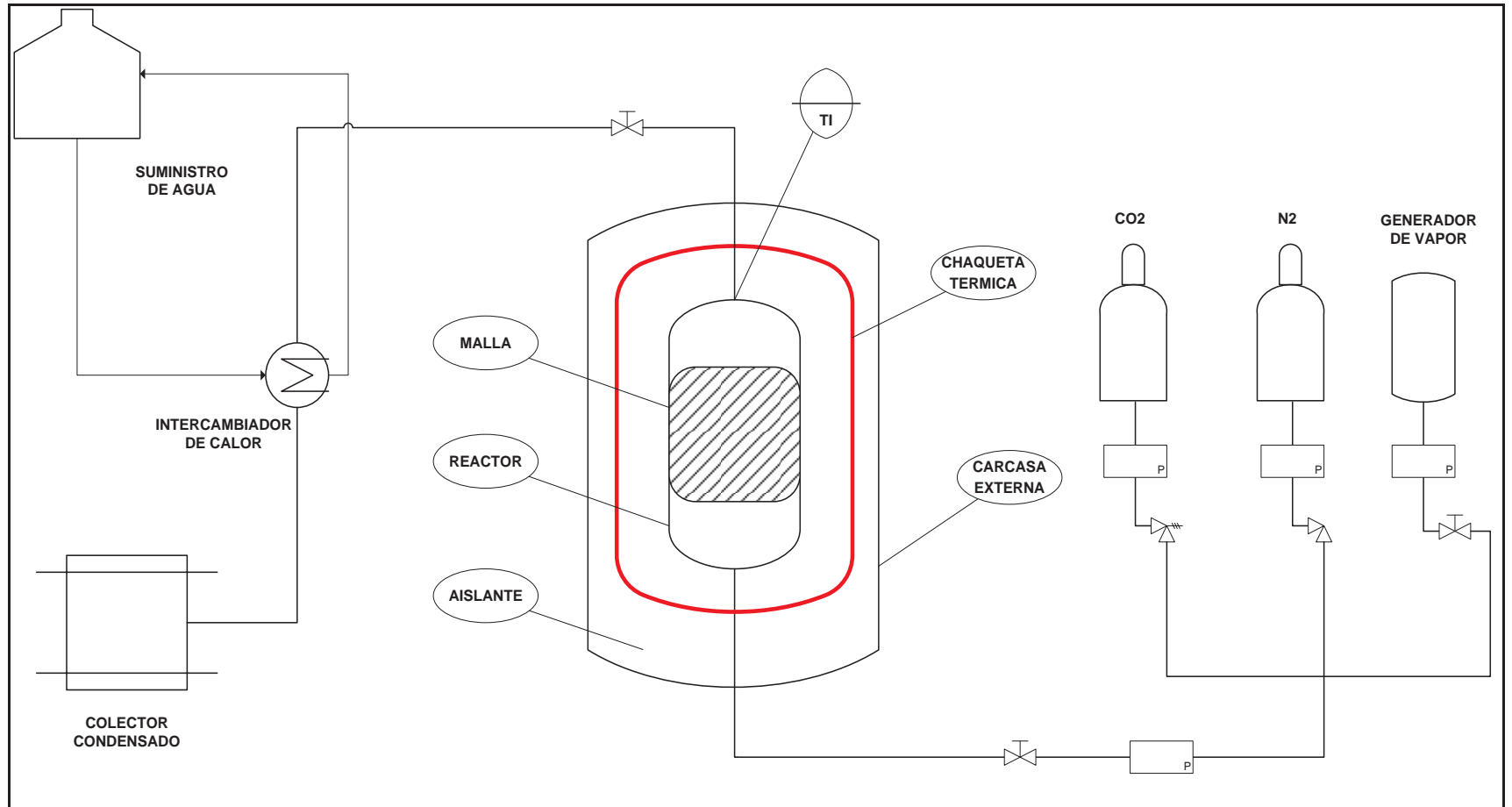


Figura 1.1 – Diagrama de Flujo del Proceso de Carbonización y Activación Física de las Cáscaras de Nueces.



## Sección Experimental: Descripción del Reactor Experimental:

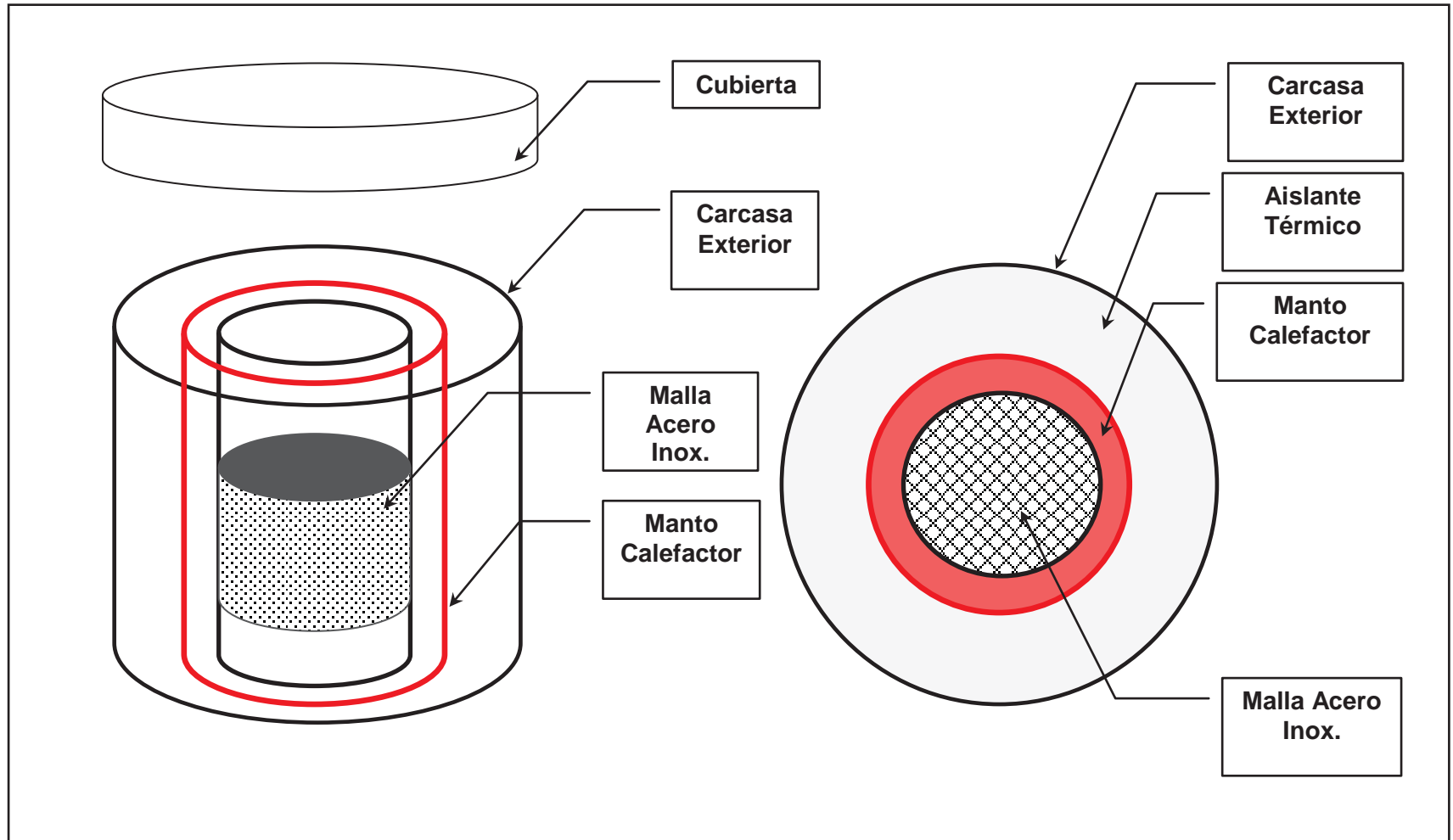


Figura 1.2 – Diagrama del Reactor de Activación Física.

### 1.3.5 Segunda Etapa Investigación Adsorción en Minicolumnas

El Objetivo general de la presente investigación consiste en determinar la capacidad de adsorción de oro desde una solución sintética de aurocianuro sobre el carbón activado y no activado de cáscaras de nueces. Se desarrollará un set de pruebas en minicolumnas, determinando la capacidad de adsorción de oro.

Así mismo se determinarán las propiedades químicas y físicas del carbón obtenido, a través de un equipo experimental a escala banco, el cual efectuara las etapas de carbonización y activación con vapor de agua. Con esta información se comparará el carbón obtenido con sus homólogos comerciales, específicamente el carbón de cáscaras de coco. **Ver figura 1.3 y 1.4.**

### 1.3.6 Objetivos Específicos

1. Determinar la adsorción y recuperación de oro a través de un lecho de Carbón Activado y su posterior elución en solución alcalina.
2. Eficiencia de carga en el Carbón Activo de la solución sintética de aurocianuro en la superficie porosa del carbón activo y no activo (CAP) y (CAG), comparación con su homólogo comercial.
3. Determinación de la cinética de adsorción de aurocianuro en la superficie porosa del carbón activado y no activado, (CAP) y (CAG), comparación con su homólogo comercial y datos de bibliografía.

☑ Diagrama Bloques Pruebas en Mini - Columnas

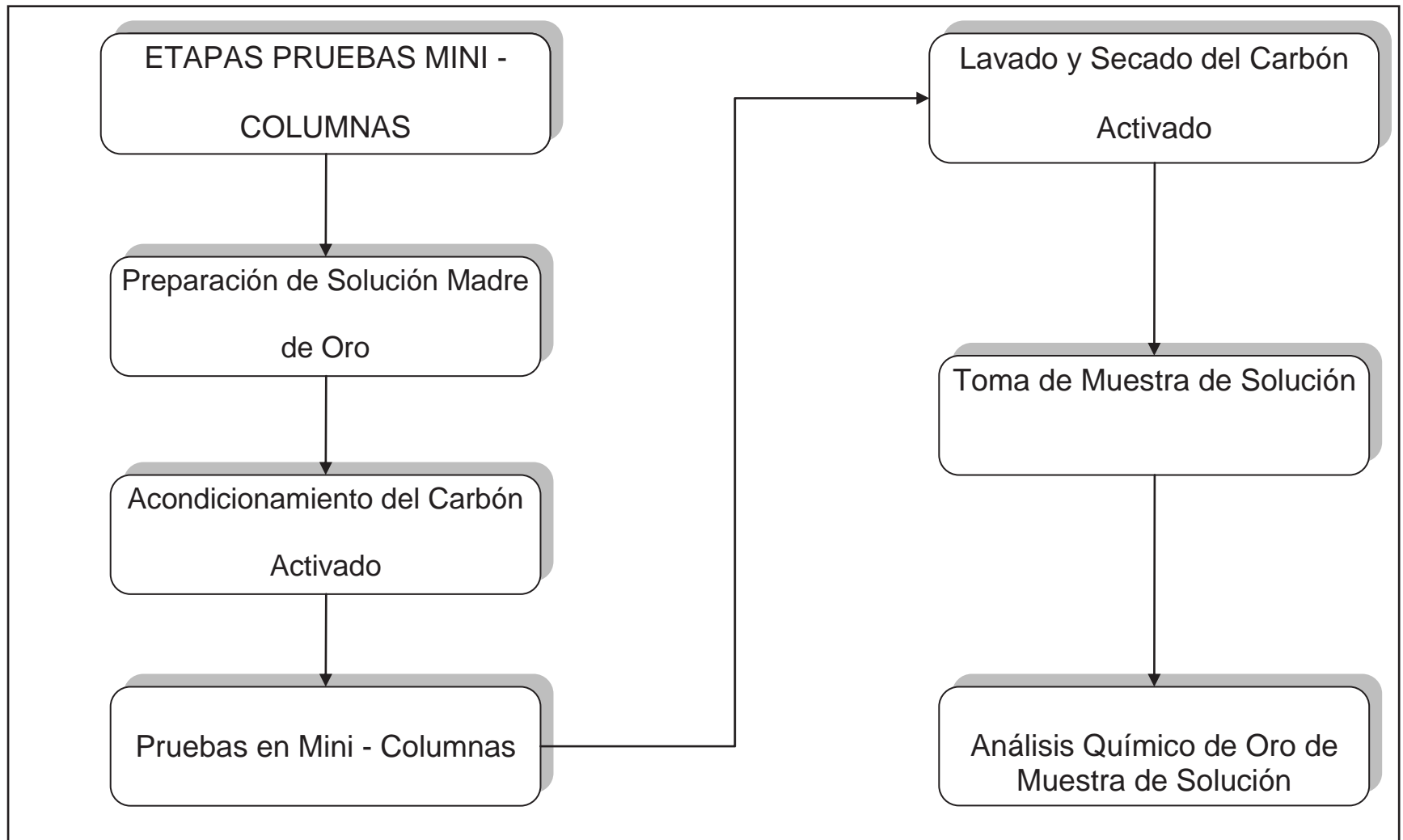


Figura 1.3 – Diagrama de Flujo Pruebas Mini – Columnas.

☑ Pruebas en Mini – Columnas

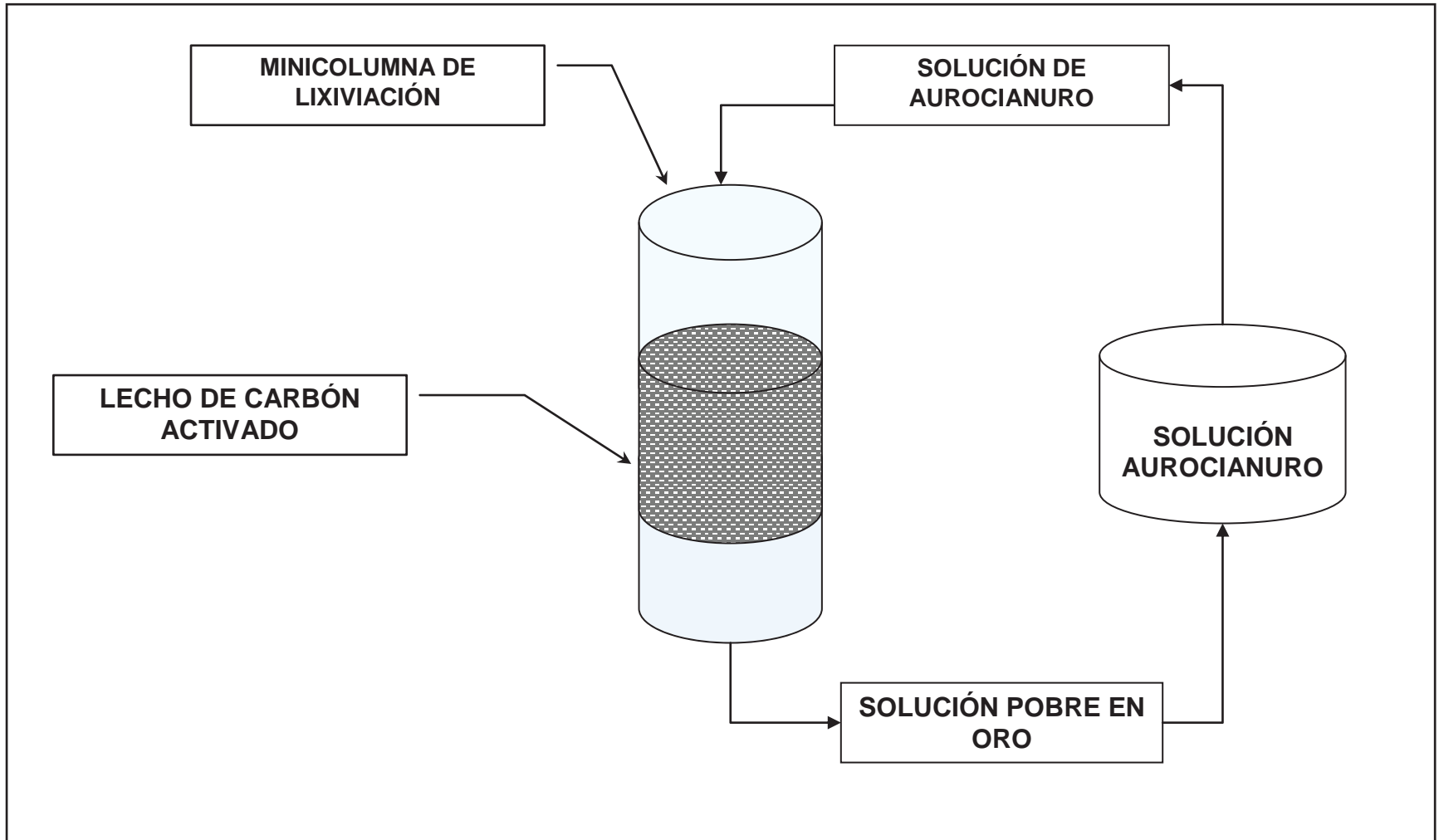


Figura 1.4 – Diagrama Pruebas Mini – Columnas.

## 1.4 Planificación del Proyecto

A continuación se presenta una programación de las actividades generales del proyecto, **Ver Tabla 1.1.**

| PROYECTO CARBÓN ACTIVO |                                   | Año   |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|------------------------|-----------------------------------|-------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|
|                        |                                   | Mes 1 |   |   |   | Mes 2 |   |   |   | Mes 3 |   |   |   | Mes 4 |   |   |   | Mes 5 |   |   |   | Mes 6 |   |   |   |
| ACTIVIDADES            |                                   | 1     | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 |
| 1                      | ALCANCES DEL PROYECTO             | ■     | ■ |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
| 2                      | ESTUDIO DEL ARTE CARBÓN ACTIVO    |       |   | ■ | ■ |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
| 3                      | ESTUDIO Y VALIDACIÓN EXPERIMENTAL |       |   |   |   | ■     | ■ | ■ | ■ | ■     | ■ | ■ | ■ | ■     | ■ | ■ | ■ |       |   |   |   |       |   |   |   |
| 4                      | ESTIMACIÓN MATERIA PRIMA          |       |   |   |   | ■     | ■ |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
| 5                      | ESTUDIO ECONÓMICO                 |       |   |   |   |       |   | ■ | ■ | ■     | ■ |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
| 6                      | SELECCIÓN MÉTODO DE PRODUCCIÓN    |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   | ■ | ■ |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
| 7                      | BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA     |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   | ■ | ■ |       |   |   |   |       |   |   |   |
| 8                      | DISEÑO MECÁNICO DE EQUIPOS        |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   | ■ | ■ |       |   |   |   |
| 9                      | EVALUACIÓN ECONÓMICA              |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   | ■     | ■ |   |   |
| 10                     | ENTREGA DE RESULTADOS             |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   | ■ | ■ |
| 11                     | EVALUACIÓN DE RESULTADOS          |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   | ■ | ■ |
| 12                     | PRESENTACIÓN FINAL                |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   | ■ |

Tabla 1.1 – Gantt Planificación Proyecto.

## 1.5 Resumen Capítulo I

En el presente capítulo hemos estudiado los alcances generales y específicos de nuestro proyecto, encontrando algunas alternativas de análisis físico químicos que puedan entregarnos mayores antecedentes técnicos acerca del carbón activo de cáscaras de nueces. Así también resumir la economía del negocio que se pretende instalar como una planta de producción de carbón activo y finalmente desarrollando una planificación simple de las etapas más importantes de proyecto. En relación al capítulo II, encontraremos antecedentes importantes acerca de que es el carbón activo, explicando algunas de sus características más importantes y entregando una visión cualitativa acerca de la aplicación buscada para nuestro producto, la cual se encuentra en la absorción de aurocianuro, para ver su competencia relativa a otros carbones comerciales, en el campo de la hidrometalurgia.

## 1.6 Bibliografía

1. Sitio Web: [www.aduana.cl](http://www.aduana.cl). Servicio Nacional de Aduanas - Gobierno de Chile. “Estadísticas, Estudios y Publicaciones”.
2. Fernando Guzmán Ramírez – Jorge Larrondo Véliz. “Evaluación de Biosólidos como Precursores en la Elaboración de carbón Activado”, Revista: Trilogía, Ciencia – Técnica – Espíritu, Sitio Web: [www.utem.cl/trilogia](http://www.utem.cl/trilogia) ; “Ediciones Universidad Tecnológica Metropolitana. 2004-2005-2006”.



***CAPÍTULO II***  
***- El Carbón Activado -***

## 2.1 El Carbón Activado

Los primeros usos de materiales a base de carbón fueron en aplicaciones médicas. Para ello usaban carbón vegetal como adsorbente preparado a partir de madera carbonizada, así lo describen los griegos en un papiro encontrado en Tebas que data de 1550 a.c. Posteriormente, los griegos amplían su uso para filtrar el agua, con el fin de eliminar malos olores y sabores y prevenir enfermedades.

De igual forma, se sabe que los barcos fenicios almacenaban el agua para beber en barriles de madera parcialmente quemados en su interior. Sin embargo, la primera aplicación documentada del uso de carbón activo en fase gas, se da en 1793 por el Dr. D. M. Kehl quien usa carbón vegetal para eliminar olores emanados por la gangrena. El mismo doctor lo usaba también para filtrar el agua para beber [Oviedo, 2006].

La primera aplicación industrial del Carbón Activado tuvo lugar en Inglaterra, en 1794, donde se usó como decolorante en la industria del azúcar, aún cuando la patente se publica hasta 1812. En 1854 tiene lugar su primera aplicación a gran escala cuando un alcalde de Inglaterra ordena instalar filtros de carbón vegetal en los sistemas de ventilación de los drenajes. En 1872, aparecen las primeras máscaras con filtros de Carbón Activado usadas en la industria química para evitar la inhalación de vapores de mercurio. No es sino hasta 1881, cuando Kayser introduce el término adsorción para describir como los materiales carbonizados atrapaban a los gases. En fechas cercanas, Von Raphael Ostrejko, quien se considera como el inventor del Carbón Activado, desarrolló varios métodos para producir Carbón Activado tal y como se conoce hoy en día. En 1901 patentó dos de sus métodos.

Durante la Primera Guerra Mundial el uso de agentes químicos trajo como consecuencia la necesidad de desarrollar filtros de Carbón Activado para máscaras de gas. Este fue el punto de partida para el desarrollo de la industria de Carbón Activado que se expandió hacia otros usos. En los años 60 varias plantas de aguas empezaron a usar Carbón Activado en forma de polvo o granular. Actualmente,

el Carbón Activado tiene cientos de aplicaciones diferentes, tanto en sistemas de vapor, como en fase líquida. El mayor consumo a nivel mundial es para aplicaciones en fase líquida siendo éste de hasta un 80%.

Entre sus variados usos podemos mencionar: para purificar agua, desodorizar, adsorber gases, decolorar, o ionizar. Dadas sus características muy versátiles, los hacen valiosos en las industrias de minería, vitivinicultura, de alimentos, cigarreras, farmacéuticas, fabricación de filtros para control de emisiones, cosméticas y muchísimas otras áreas. En los últimos años, la creciente demanda de nuevos sistemas de almacenamiento de energía ha impulsado la utilización de los carbones activados en electrodos de condensadores eléctricos de doble capa, también llamados súper-condensadores. Estos dispositivos son usados en sistemas de copias de seguridad para computadoras, telefonía móvil, sistemas de potencia no-interrumpida, escáner, etc.

El Carbón Activado, o Carbón Activo, es un material de Carbón poroso. Un material carbonizado que se ha sometido, a reacción con gases oxidantes (como  $CO_2$  o aire), o con vapor de agua; o bien a un tratamiento con adición de productos químicos como el  $H_3PO_4$ , durante (o después) de un proceso de carbonización, con el objeto de aumentar su porosidad. Los carbones Activados poseen una capacidad de adsorción elevada y se utilizan para la purificación de líquidos y gases. Mediante el control adecuado de los procesos de carbonización y activación se puede obtener una gran variedad de carbones Activados que posean diferentes distribuciones de tamaño de poros.

Los carbones Activos se utilizan para purificar, decolorar y desodorizar agua; recuperar solventes, purificar el aire viciado en espacios cerrados y purificar productos químicos o alimentos. Su uso ya comprobado en campo de la hidrometalurgia, en la recuperación de oro y plata le han dado al Carbón Activo características muy preciadas de adsorción selectiva de cationes, los cuales se estudiarán más adelante en capítulos posteriores.

El término Carbón Activado, incluye variedades de materiales de Carbón no cristalino que presentan un alto grado de porosidad, que es lo que se busca en este tipo de especies adsorbentes, donde el área específica de estos es extensa y alta en comparación a otros agentes adsorbentes similares. El Carbón Activado es obtenido por combustión total o parcial de diversas sustancias que contengan carbono. Dependiendo del material de origen (precursor) varían las características del Carbón Activo. El Carbón Activado es un material de Carbón que se prepara en la industria para que tenga una elevada superficie interna y así poder adsorber (retener sobre su superficie) una gran cantidad de compuestos muy diversos, tanto en fase gaseosa como en disolución.

Son dos las características fundamentales en las que se basan las aplicaciones del Carbón Activado: elevada capacidad y baja selectividad de retención. La elevada capacidad de eliminación de sustancias se debe a la alta superficie interna que posee, si bien porosidad y distribución de tamaño de poros juegan un papel importante. En general, los microporos (tamaño inferior a 2 nm) le confieren la elevada superficie y capacidad de retención, mientras que los mesoporos (tamaño comprendido entre 2 – 50 nm) y macroporos (tamaño > 50 nm) son necesarios para retener moléculas de gran tamaño, como pueden ser colorantes o coloides, y para favorecer el acceso y la rápida difusión de las moléculas a la superficie interna del sólido. Por otra parte, el Carbón Activado tiene escasa especificidad ante un proceso de retención, es un adsorbente “universal”.

No obstante, por su naturaleza apolar y por el tipo de fuerzas implicadas en el proceso de adsorción, retendrá preferentemente moléculas apolares y de alto volumen molecular (hidrocarburos, fenoles, colorantes, etc.), mientras que sustancias como el nitrógeno, oxígeno y agua prácticamente no se retienen por el Carbón a temperatura ambiente. Las propiedades adsorbentes de un Carbón Activado no dependen únicamente de la superficie y porosidad. En particular, las sustancias polares se retienen débilmente sobre la superficie (apolar) del Carbón. En estos casos, la fijación al carbono de “heteroátomos”, principalmente oxígeno e hidrógeno, formando estructuras o grupos funcionales tipo ácido carboxílico, lactonas, carbonilo,

etc., eleva la afinidad de las sustancias polares por la superficie del adsorbente, pudiendo imprimir un carácter ácido-base al Carbón.

Finalmente, cuando la sustancia a eliminar tiene una polaridad apreciable, bajo volumen molecular y está muy diluida en aire la retención a temperatura ambiente por el Carbón sólo es efectiva si se impregna con reactivos específicos o se aprovechan las propiedades catalíticas del Carbón. De esta manera, tras la adsorción se producen unas reacciones químicas que transforman los productos tóxicos en inertes que se desorben o quedan retenidos en la porosidad del Carbón.

## 2.2 Versatilidad del Carbón Activado

Es conveniente analizar primero el proceso de adsorción, para así comprender mejor como es que el Carbón Activado realiza su función. La adsorción es un proceso por el cual los átomos en la superficie de un sólido, atraen y retienen moléculas de otros compuestos. Estas fuerzas de atracción son conocidas como " fuerzas de Van Der Waals". Por lo tanto al ser un fenómeno que ocurre en la superficie mientras mayor área superficial disponible tenga un sólido, mejor adsorbente podrá ser.

El Carbón Activado es un producto que posee una estructura cristalina reticular similar a la del grafito; es extremadamente poroso y puede llegar a desarrollar áreas superficiales del orden de 1.500 metros cuadrados ó más, por gramo de Carbón.

Todos los átomos de Carbón en la superficie de un cristal son capaces de atraer moléculas de compuestos que causan color, olor o sabor indeseables; la diferencia con un Carbón Activado consiste en la cantidad de átomos en la superficie disponibles para realizar la adsorción. En otras palabras, la activación de cualquier Carbón consiste en " multiplicar" el área superficial creando una estructura porosa. Es importante mencionar que el área superficial del Carbón Activado es interna. Para darnos una idea más clara de la magnitud de la misma, imaginemos un gramo de Carbón en trozo el cual moleremos muy fino para incrementar su superficie, como resultado obtendremos un área aproximada de 3 a 4 metros cuadrados, en cambio, al activar el Carbón logramos multiplicar de 200 a 300 veces este valor.

Por todo ello, cuando se desea remover Una impureza orgánica que causa color, olor o sabor indeseable, normalmente la adsorción con Carbón Activado suele ser la técnica más económica y sencilla.

## 2.3 Principales Tipos de Activación

Dentro de los tipos de activación se encuentra la activación por vía física, ver **Figura 2.1**, donde un determinado precursor es llevado a altas temperaturas en presencia de un agente activante, los cuales pueden variar dependiendo el Carbón Activo requerido, entre estos pueden estar vapor de agua,  $\text{CO}_2$ , etc. También el precursor puede ser Activado por un agente químico, ver **Figura 2.2**, como el cloruro de zinc ( $\text{ZnCl}_2$ ), el ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) y el hidróxido de potasio (KOH), etc.

Ambos tipos de activación se utilizan para dar mejores propiedades al Carbón en cuanto a su capacidad de adsorción y selectividad en procesos industriales, para el tratamiento de algún efluente en particular, dependiendo del tipo de activación que sufra el Carbón Activo podremos saber el tipo superficie que este tenga, en cuanto a su geometría de poro, tamaño de los poros y ramificaciones, etc. A continuación se muestran los procesos de activación de manera esquemática:

☑ **Proceso de Activación Térmica (Física)**

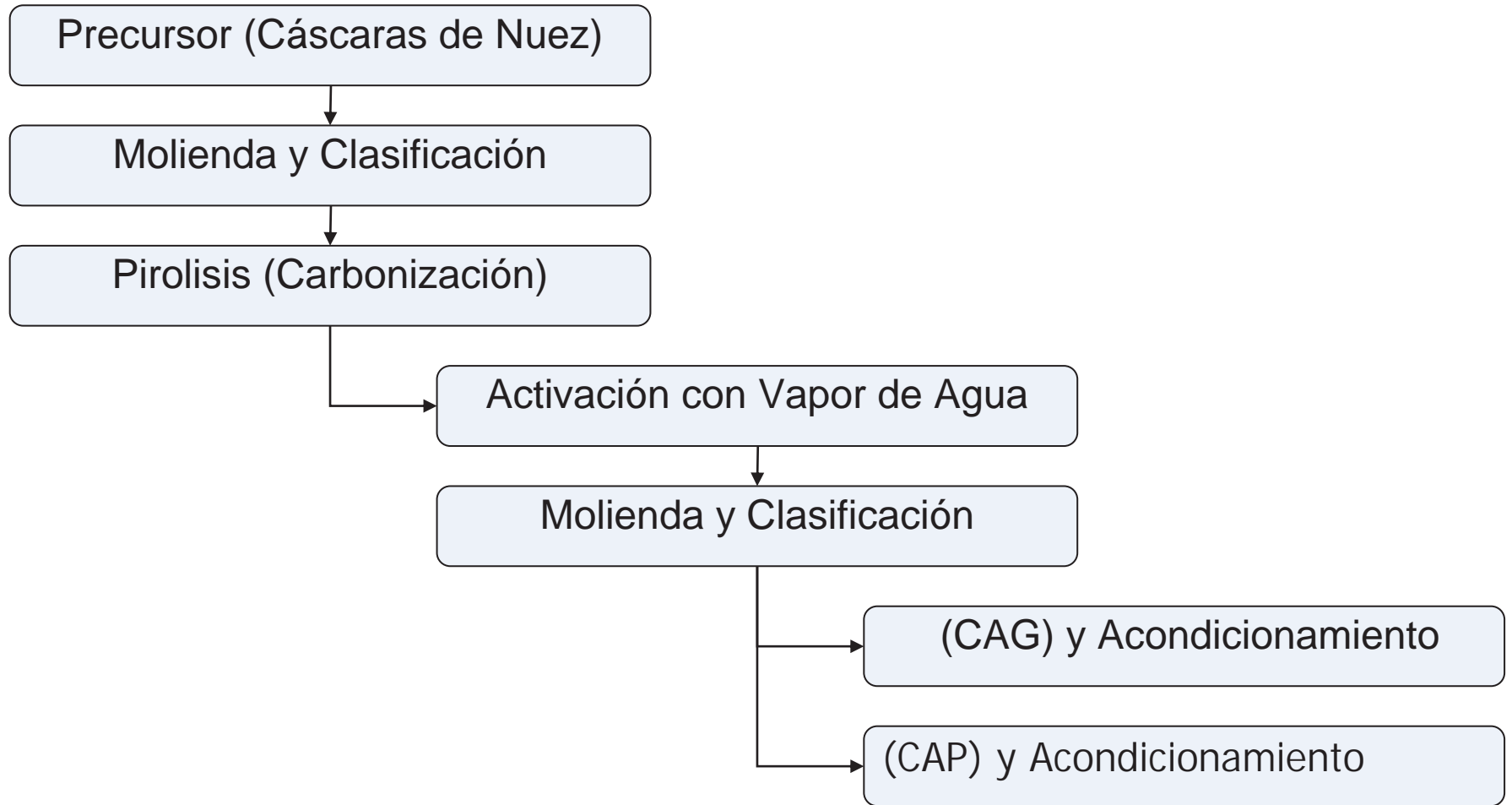


Figura 2.1 – Diagrama del Proceso de Activación Física.



☑ **Proceso de Activación Química**

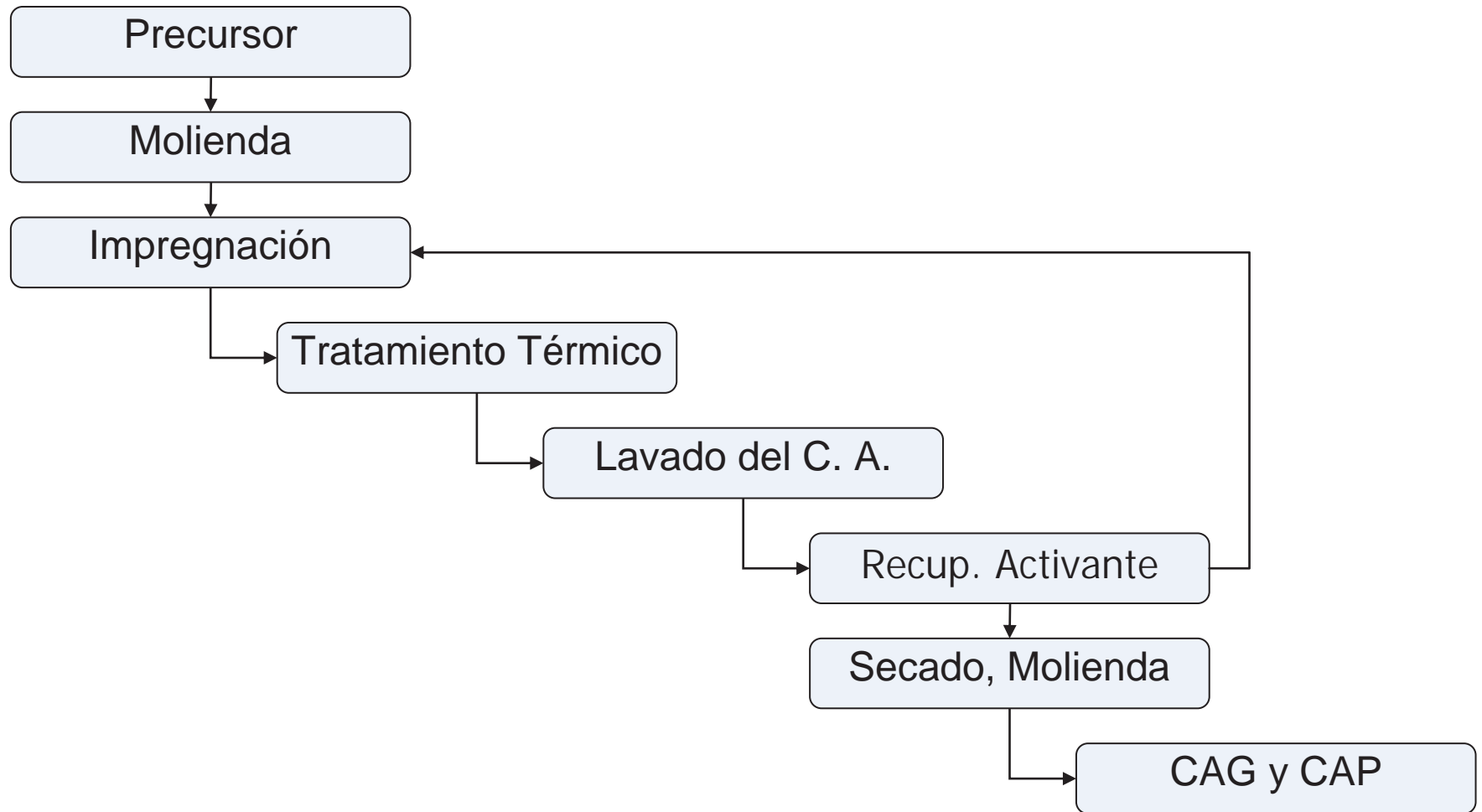


Figura 2.2 – Diagrama del Proceso de Activación Química.

## 2.4 Tipos de Carbones Activados

En términos generales los carbones Activados se clasifican en dos grandes grupos:

- Carbones para purificación en **FASE LIQUIDA.**
- Carbones para purificación en **FASE GASEOSA.**

Las propiedades más importantes a considerar al seleccionar un Carbón son el diámetro de los poros y las características de los mismos. Los poros de un Carbón Activado se clasifican en tres, de acuerdo a su tamaño:

- Microporos.**
- Poros Medios.**
- Macroporos.**

**Los Microporos** son poros con un radio De  $20 \text{ \AA}$  ó menos y son los que más área proporcionan. Son útiles para adsorber moléculas muy pequeñas, que generalmente se encuentran presentes en purificaciones de gases.

**Los Poros Medios** están en el rango de  $20 - 500 \text{ \AA}$  y aunque su contribución al área total es menor que los microporos, su tamaño les permite

adsorber moléculas grandes que por lo general están presentes en purificaciones de líquidos.

**Los Macroporos** casi no contribuyen al área total de un Carbón pero su importancia radica en que actúan como Vías de acceso a los poros medios y microporos, afectando la velocidad de Difusión de las impurezas en el Carbón. Desafortunadamente el área total y el tamaño de los poros no son fáciles de medir, y en consecuencia se suelen utilizar algunos índices como:

- El Índice de Yodo.
- El Índice de Melaza.
- El Índice de Azul de Metileno.
- El Índice de Tetracloruro de Carbono.
- El Índice de Butano.

Estos índices nos dan una idea de que tan fácil se adsorben las moléculas de distintos tamaños, por lo que podemos darnos una idea del tipo de poros que tiene un Carbón. Normalmente es difícil que un Carbón tenga poros de un solo tamaño, lo que Tiene es una determinada distribución.

### **2.4.1 Clasificación de Acuerdo al Tamaño**

Los carbones Activos pueden clasificarse atendiendo al tamaño de las partículas en Carbón Activado en Polvo (CAP) y Carbón Activado Granular (CAG), ver **Figura 2.3.**

Los CAP presentan tamaños menores de 100 nm. Los CAG presentan un tamaño medio de partícula entre 1 y 5 mm. Los CAG pueden dividirse en dos categorías:

- Carbón Activado Troceado (o sin forma).
- Carbón Activado Conformado (o con una forma específica, cilindros, discos, etc.).

Los carbones Activados troceados se obtienen por molienda, tamizado y clasificación de briquetas de Carbón o de trozos más grandes. Los carbones conformados pueden obtenerse por peletización o por extrusión de Carbón en polvo mezclado con distintos tipos de aglomerantes. Existen además otras formas de adsorbentes de Carbón, como las fibras de Carbón activadas, las telas y los filtros de carbones Activados, las estructuras monolíticas, las membranas de Carbón, etc. Los carbones Activados, pueden presentar elevadas superficies específicas, del orden de  $1000 \left[ \frac{m^2}{g} \right]$  e incluso llegar a los  $3000 \left[ \frac{m^2}{g} \right]$ . Los elevados valores de superficie específica se deben en gran medida a la porosidad que presentan los materiales carbonosos, siendo los microporos los que mayor contribución tienen en la superficie específica.

En principio, cabría pensar que a mayor superficie específica mejores serán las características como adsorbente del Carbón Activado, puesto que también deberíamos tener un mayor número de centros para adsorber el adsorbato. Sin embargo, esto no siempre es cierto, ya que hemos de tener en cuenta el posible “efecto de tamiz molecular”. Así, dependiendo del tamaño de las moléculas del adsorbato, puede suceder que éstas sean mayores que algunos de los poros y por tanto no toda la superficie sea accesible a dichas moléculas, ver **Figura 2.4**.



## Representación Esquemática del Sistema Poroso de un Carbón

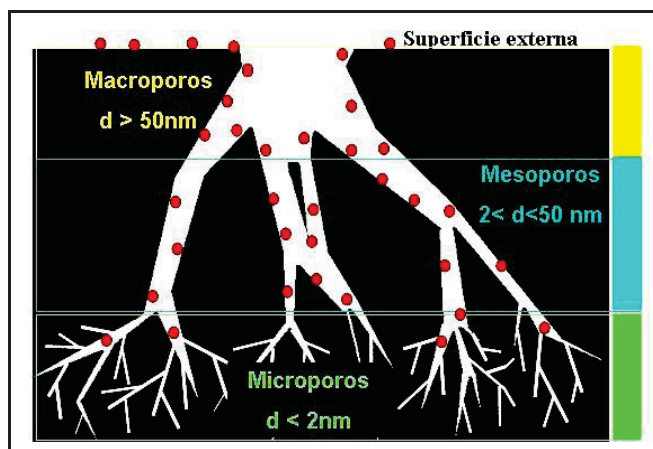


Figura 2.3 – Esquema del sistema poroso de un Carbón y clasificación de los poros según su tamaño ( $d$  = dimensión característica del poro). Los círculos representan las moléculas del adsorbato.



## Estructura y Morfología de un Carbón

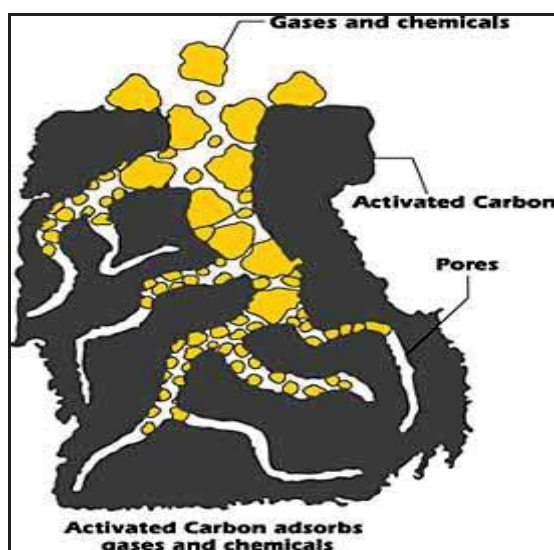


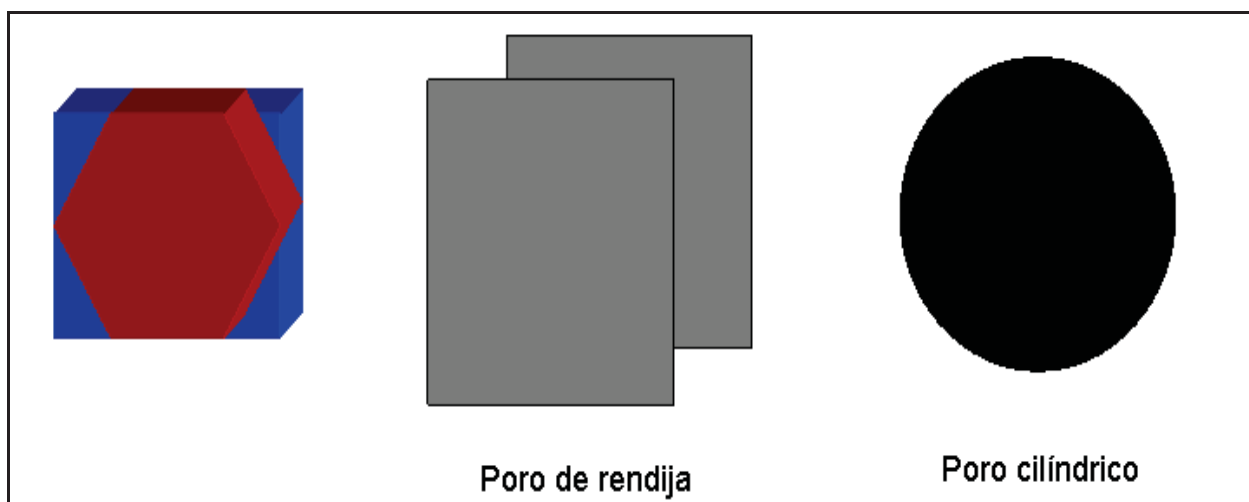
Figura 2.4 – Estructura y morfología de materiales de Carbón poroso.

## 2.4.2 Geometría del Poro

Por otro lado también hay que tener en cuenta tanto la geometría del poro como la del adsorbato. Así, por ejemplo, determinadas moléculas pueden penetrar en poros con geometría del “tipo rendija” y no hacerlo en poros de dimensiones similares y geometría cilíndrica, ver **Figura 2.5**. En numerosas ocasiones también se ha observado que determinados compuestos se adsorben muy bien en un cierto Carbón Activado, mientras que la adsorción es mucho menor en otros carbones Activados, a pesar de poseer éstos una textura porosa, i.e., una distribución de tamaños de poros y superficie específica, muy similar.

Esto se debe al importante hecho de que: **“Una elevada superficie específica, con una buena distribución de tamaños de poros que la hagan fácilmente accesible al adsorbato, es una condición necesaria, pero no suficiente, para optimizar la preparación de un Carbón Activado”**

### Aspectos Geométricos de los Poros



**Figura 2.5 – Ejemplo de como el tamaño y a geometría del poro puede influir en la adsorción de distintos adsorbatos.**

## 2.5 Purificación en Fase Líquida

La adsorción con Carbón en fase líquida es útil para remover compuestos orgánicos que causan color, olor y sabor indeseables. Esta técnica es en la mayoría de los casos, la opción más sencilla y económica comparada con otras técnicas, por ejemplo: destilación cristalización, etc.

Aunque la mayor parte de los compuestos que adsorbe el Carbón Activado son de naturaleza orgánica, existen algunas importantes excepciones inorgánicas. La adsorción en la fase líquida es resultado de dos fenómenos:

- Adsorción Física:** debida a las fuerzas de Van Der Waals.
- Adsorción Química:** debida a la formación de enlaces químicos.

Es importante mencionar que la adsorción en **fase líquida** es el resultado de un equilibrio entre la adsorción y desorción, en consecuencia, es un fenómeno complejo que puede verse influenciado por muchas variables.

### 2.5.1 La Ecuación de Freundlich

Existe una ecuación empírica que ha demostrado ser útil para predecir el comportamiento del Carbón Activado en la mayoría de las aplicaciones en fase líquida:

1. Ecuación de Freundlich.

$$\frac{X}{M} = K \cdot C^{1/n}$$

2. A temperatura constante:

- X = Cantidad de impureza adsorbida.
- M = Dosis de Carbón.
- C = Concentración residual de la Impureza.
- K, n = Constantes.

3. Al graficar esta ecuación, se obtiene una recta, ver **Figura 2.6**.

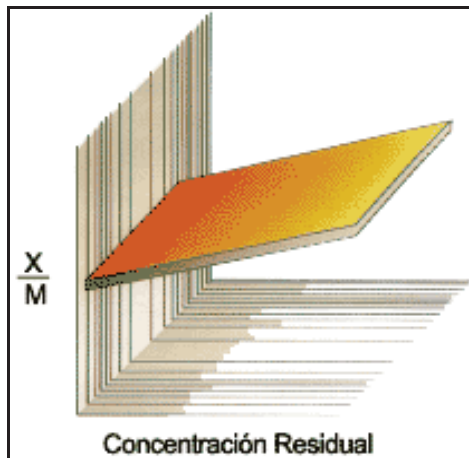
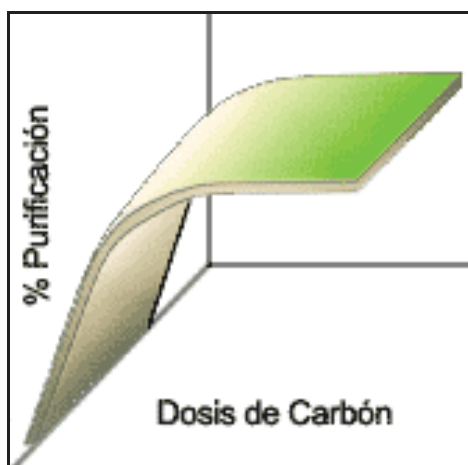


Figura 2.6 – Isoterma de Freundlich



Esta gráfica es conocida como **Isoterma de Freundlich**, es de mucha utilidad al evaluar el comportamiento de un Carbón Activado para determinada aplicación, y encontrar la dosis adecuada. Resulta interesante recalcar que si se graficaran para una determinada aplicación los datos de dosis del Carbón (v/s) el porcentaje de impureza removida, se obtendría una gráfica similar a la **Figura 2.7**.



**Figura 2.7 – Representación Gráfica del % de Purificación vs Dosis de Carbón Activado.**

Donde se observa que existe un rango en el cual el Carbón Activado es eficiente, pero llega el momento en que aunque se agregue más Carbón, la ganancia en remoción es cada vez menor. Un Carbón Activado normalmente adsorbe entre un 10% y un 60% de su peso en impurezas. Desafortunadamente en fase líquida es común que la impureza a remover sea en realidad una mezcla de compuestos, y rara vez se conoce su composición exacta. Por esto, la realización de las Isotermas tiene una gran importancia. Cabe aclarar que por lo mismo, la isoterma será sólo aplicable a las condiciones bajo las cuales se realizó, y al cambiar cualquiera de ellas, la isoterma puede cambiar significativamente.

Resulta obvio que para que un compuesto sea adsorbido por el Carbón Activado sus moléculas deben penetrar los poros del mismo, en consecuencia, los poros del Carbón deben tener un diámetro mayor que el de las moléculas de la

impureza. Se ha visto que en fase líquida la mayoría de las impurezas son moléculas medianas y grandes que a su vez requieren de carbones con una gran cantidad de poros medios.

Al ser la adsorción un proceso en equilibrio, cualquier impureza que tenga afinidad con el producto en el que este presente, dificultará la adsorción. Por ejemplo: un contaminante altamente soluble en el medio que se encuentra será más difícil de adsorber que uno de solubilidad media o baja. Dentro del proceso de adsorción uno de los pasos normalmente más críticos es la difusión de las impurezas a remover hacia la superficie externa del Carbón, por esta razón cualquier variable que afecte la difusividad, puede también tener un efecto sobre la adsorción.

## 2.5.2 Variables que Afectan la Adsorción en Fase Líquida

En términos generales las variables más importantes que afectan la adsorción son: Temperatura, pH y tamaño de partícula.

**Temperatura:** Una mayor temperatura generalmente permite llegar al equilibrio más rápidamente; sin embargo, la cantidad de impureza adsorbida es menor. Esto quiere decir que si el tiempo no fuera importante, se podría lograr una mayor adsorción a menor temperatura; lo cual rara vez es práctico a nivel industrial, por lo que aumentar la temperatura - cuando es posible - normalmente resulta benéfico.

**pH:** Muchos compuestos que provocan color, varían su estructura y su color al cambiar el pH. En la mayoría de los casos la decoloración a pH más bajos es más eficiente por 2 razones:

- ☑ Los compuestos que generan color normalmente tiene una alta dependencia con el pH, siendo menos intenso a pH menor.
- ☑ Posiblemente la adsorción es más eficiente a pH más bajo. Cuando se tiene certeza del comportamiento, es mejor no modificar el pH y buscar un Carbón Activado con pH cercano al proceso.

**Tamaño de Partícula del Carbón:** Como ya se mencionó, el área del Carbón es interna y en consecuencia el tamaño de la partícula no tiene efecto sobre la capacidad adsortiva del Carbón. Sin embargo, sí tiene efecto sobre la velocidad para alcanzar el equilibrio. **Por Ejemplo:** En una aplicación determinada probablemente se requerirán varias horas de contacto usando Carbón granular, para obtener el mismo resultado que se tendría usando Carbón pulverizado y 30 minutos de contacto. Las desventajas De una menor partícula son:

- ☑ En el caso de carbones granulares: *Mayor caída de presión*
- ☑ En el caso de carbones pulverizados: *Menor Filtrabilidad*

### 2.5.3 Pureza de un Carbón (Cenizas)

Las cenizas son compuestos inorgánicos presentes en la materia prima de la cual se partió para elaborar el Carbón Activado y que no alcanzan a volatilizarse durante la activación. El contenido de cenizas suele asociarse con la calidad de un Carbón; sin embargo, esto no es del todo cierto ya que en realidad lo importante es la parte de las cenizas que es soluble en el producto que se esta purificando. En muchas aplicaciones las cenizas no son importantes; sin embargo existen algunos

procesos en los que la presencia de compuestos inorgánicos, por ejemplo calcio, magnesio, fierro, etc., pueden ocasionar alguna reacción indeseable.

## 2.6 Purificación en Fase Gaseosa

Los carbones Activados para aplicaciones en fase gaseosa son usados en gran escala, en la purificación de aire, purificación de gases de proceso, recuperación de solventes, protección ambiental y como catalizador.

La naturaleza y concentración del contaminante, junto con las condiciones específicas del proceso determinan que tipo de Carbón debe utilizarse, generalmente debido a que el tamaño de las moléculas de los vapores es relativamente pequeño, se requiere del uso de carbones microscópicos. En algunas aplicaciones, la actividad del Carbón es mejorada impregnándolo con agentes catalíticos. La adsorción en fase gas, se lleva a cabo por condensación del vapor, como resultado de la interacción entre la superficie del Carbón y el vapor, siendo ésta una reacción exotérmica. El proceso de adsorción en fase gas, puede describirse por ecuaciones empíricas especiales tales como la Teoría BET o las ecuaciones de DUBININ.

La ecuación de DUBININ relaciona la capacidad de adsorción en equilibrio para un cierto tipo de Carbón a una determinada temperatura, con la concentración de vapor existente en la corriente de gas que requiere ser purificada.

### 2.6.1 Parámetros de Trabajo en Carbones Activos en Fase Gas

1. **Concentración del Adsorbato:** Solo cuando la corriente de vapor a tratar esté completamente saturada, todos los poros del Carbón se llenarán con el adsorbato. Entre más baja sea la concentración del adsorbato solo los microporos más pequeños poseen la energía de adsorción suficiente para adsorberlo.

2. **Temperatura de Adsorción:** En términos generales a mayor temperatura se reduce la capacidad de adsorción debido a:
- Contenido de Energía:** A mayor temperatura se incrementa el contenido de energía, por lo que el adsorbato requiere de mayor energía para mantenerse en estado líquido, lo que influirá de manera directa en equilibrio de adsorción.
  - Presión de Vapor Saturado:** A mayor temperatura se incrementa la presión de vapor por lo que es más difícil mantener al adsorbato en estado líquido.
  - Densidad del Adsorbato:** La densidad del adsorbato disminuye al aumentar la temperatura
3. **Naturaleza del Adsorbato:** Mientras más compleja sea la mezcla de adsorbato a tratar con mayor facilidad será adsorbida.
4. **Punto de Ebullición del Adsorbato:** Entre más alto es el punto de ebullición del adsorbato se requiere de un Carbón con mayor grado de actividad.
5. **Humedad Relativa del Carbón:** Una alta humedad relativa conduce a un alto contenido de humedad en el Carbón lo que inhibe fuertemente su capacidad de adsorción.

## 2.6.2 Aplicaciones para Fase Gaseosa

Las aplicaciones para fase gaseosa pueden dividirse en varios grupos:

1. **Purificación de Gases de Proceso:** El Carbón Activado es particularmente efectivo para adsorber impurezas presentes en concentraciones de ppm. a estos niveles normalmente cualquier otra técnica resulta más costosa. El Carbón Activado puede adsorber casi cualquier contaminante orgánico. Las impurezas con temperatura de ebullición más alta, son más fácilmente adsorbibles con Carbón Activado si la impureza tiene un punto de ebullición bajo, es posible usar algún Carbón Impregnado para mejorar la eficiencia. Algunos ejemplos de este tipo de Aplicación son:

- Remoción de contaminantes ácidos como:  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $HCL$ ,  $HF$ ,  $CL_2$ .
- Remoción de compuestos sulfurosos tales como:  $H_2S$ , mercaptanos y otros presentes en corrientes de :  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2$ .
- Eliminación de residuos de aceite lubricante presentes en aire o gases comprimidos.
- Remoción de trazas de vapores de mercurio presentes en combustibles gaseosos.
- En todas estas aplicaciones normalmente unos cuantos segundos son suficientes para lograr la adsorción.

2. **Purificación de Aire:** El Carbón Activado normalmente es el medio más eficiente para controlar las emisiones peligrosas o de malos olores de una gran variedad de industriales, principalmente cuando el contaminante este presente en una concentración máxima de cientos de (ppm). Al igual que en el caso anterior, mientras más alto sea el punto de ebullición de la impureza, más eficiente será la adsorción. Dependiendo de la eficiencia de remoción requerida, el tiempo de contacto necesario

podrá ser de fracciones de segundo. Los flujos de aire oscilan entre 0.05 y 0.4  $\left[\frac{m}{s}\right]$ , un valor común es de 0.25  $\left[\frac{m}{s}\right]$ .

3. **Recuperación de Solventes:** En muchos procesos industriales que utilizan solventes orgánicos se tienen pérdidas por evaporación de los mismos. El uso de sistemas con Carbón Activado permite su recuperación a un costo que en muchos casos resulta menor que el costo del solvente recuperado. Estos sistemas consisten de dos etapas:

- En una primer etapa, la corriente de gas y solvente pasa a través de una cama de Carbón. El Carbón adsorbe los vapores hasta saturarse.
- En una segunda etapa, el adsorbedor sale de operación y se somete a un proceso de "desorción" para lo cual se pasa a través de la cama de Carbón una corriente de vapor de baja presión o un gas inerte caliente. Una vez completado el ciclo de "desorción" el adsorbedor vuelve a entrar en operación. Por su parte el solvente es recuperado de los condensados o del gas inerte por alguna técnica de separación apropiada.
- En este tipo de aplicaciones es recomendable manejar una temperatura lo más baja posible (menos de 50 °C) y se requiere que la humedad relativa del aire sea menor a 70% (mientras más baja mejor). El tiempo de contacto normalmente oscila entre 2 y 4 segundos. y la altura de Carbón entre 50 y 150 cm.

4. **Otras:** Existen algunas otras aplicaciones de Carbón Activado en fase gaseosa entre las que destacan:



- ☑ Mascarillas industriales y respiradores como protección contra gases tóxicos.
- ☑ Mascarillas para uso militar.
- ☑ Como catalizador o soporte de catalizador, por ejemplo en el proceso "Merox" de endulzado de gasolinas.

En todos los casos anteriores, se recomienda el uso de carbones Activados granulares o peletizados que proporcionen una alta dureza y un adecuado comportamiento de flujo y caída de presión. Los carbones para fase gaseosa se caracterizan por tener una gran cantidad de microporos. Como se mencionó anteriormente los factores que afectan la longitud de la zona de transferencia de masa y caída de presión en la fase líquida, también aplican en este caso; sin embargo existen algunos factores adicionales que se deben considerar al diseñar un sistema de fase gaseosa, como es la humedad relativa. En estos casos es conveniente realizar evaluaciones a nivel piloto.

## 2.7 Carbón Activado de Cáscaras de Nueces

### 2.7.1 Características Generales

El Carbón Activado proveniente de la cáscara de Nuez tiene características superiores a los carbones Activados provenientes de otros materiales. Es utilizado en remediación ambiental, operaciones de purificación y recuperación química, así como en el tratamiento de aguas. Por sus características, el Carbón Activado de la cáscara de Nuez puede también ser utilizado para adsorber sustancias tales como desperdicios nucleares, metales pesados y explosivos. El Carbón Activado de Cáscaras de Nuez se utiliza hoy en día en diversos tipos de empresas químicas, metalúrgicas, alimentos o plantas de tratamiento de agua, cuyos usos pueden variar en:

#### 1. Adsorción de Fase Gaseosa

- Purificación de Gases:  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $HCL$ ,  $HF$ ,  $CL_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2$ ,  $H_2S$ ; Residuos de aceites lubricantes.
- Purificación de Aire y recuperación de solventes.
- Otras aplicaciones: Mascarillas y respiradores industriales; Catalizador o Soporte de Catalizador.

#### 2. Adsorción de Fase Líquida

- Refinación de Azúcar.

- ☑ Aceites y Grasas Comestibles.
- ☑ Productos Comestibles.
- ☑ Bebidas Alcohólicas.
- ☑ Productos Químicos y Farmacéuticos.
- ☑ Recuperación de Disolventes.
- ☑ Abastecimiento de Agua Potable.
- ☑ Catálisis.

Los antecedentes nos demuestran que el sector de Carbón Activado es de un enorme requerimiento industrial por sus diversas aplicaciones en distintas áreas, esto nos permite decir que el estudio de las características físico – químicas del Carbón Activado de Cáscaras de Nueces, puede ofrecer una alternativa ventajosa en algunos procesos específicos, en particular si hoy en día se le trata como desecho industrial y su aplicación es solamente como combustible.

## **2.7.2 Mercado del Carbón Activado de Cáscaras de Nueces**

El mercado para este producto es considerado como de especialidad química, por lo que este Carbón Activado presenta un alto valor comercial. Tan sólo en el mercado estadounidense se consumen al año alrededor de 300 millones de libras de Carbón Activado, cerca del 50% del mercado mundial.

Actualmente existe una iniciativa de negocio en Chihuahua en la cual se ha desarrollado un proceso muy eficiente de activación y producción que permite obtener un rendimiento cercano al 40% de Carbón Activado con gran capacidad de

adsorción, que junto al bajo costo de producción lo hace ser un producto altamente competitivo en los mercados internacionales.

Tomando como reseña una media en cuanto a las distintas áreas de proceso en las que puede estar presente el Carbón Activado, se desprenden las siguientes comparaciones en base a sus aplicaciones y características técnicas. Ver **Tabla 2.1 y 2.2.**

| Aplicaciones mas Importantes | Características   | Nº Yodo    |
|------------------------------|---|------------|
| Decolorante                  | El Carbón Activado Granular (CAG) es usado para Desodorización y Decloración en tratamiento de aguas potables en ciudades o purificaciones tales como las requeridas por las industrias de aguas minerales y de bebidas refrescantes. Generalmente presenta las siguientes características. | 750 – 900  |
| Uso Industrial               | El Carbón Activado Polvo (CAP) es usado las industrias de alimentos y bebidas refrescantes. Generalmente presenta las siguientes características.   | 750 – 1200 |
| Filtros                      | El Carbón Activado Granular (CAG) y el Carbón Activado Polvo (CAP) en filtros diversos, que generalmente presenta las siguientes características.   | 700        |

**Tabla 2.1 – Comparación Entre Aplicaciones y Nº de Yodo del Carbón Activado.**

| <b>Origen Carbón Activo</b> | <b>Tipo de Activación</b> | <b>Índice N° Yodo</b> | <b>Índice Azul de Metileno</b> |
|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------|
|                             |                           |                       |                                |
| Eucalyptus                  | Química                   | 345                   | 0,43                           |
| Pino Radiata                | Química                   | 567                   | 0,325                          |
| Carbón Mineral              | Natural                   | 237                   | 0,5                            |
| Carbón Mineral              | Química                   | 331,44                | 4,2                            |
| Norit A                     | Física                    | 450,65                | 5                              |
| Darco G-60                  | Física                    | 439,7                 | 5                              |
| Coco                        | Física                    | 1100                  | 11                             |

**Tabla 2.2 – Comparación Entre Índice de Azul de Metileno y N° de Yodo de Distintos Carbones Activados.**

## 2.8 Resumen Capítulo II

En el presente capítulo hemos estudiado antecedentes importantes acerca de que es el carbón activo y sus principales precursores, explicando algunas de sus características más importantes y entregando una visión cualitativa acerca de la aplicación buscada para nuestro producto, la cual se encuentra en la absorción de aurocianuro, para ver su competencia relativa a otros carbones comerciales, en el campo de la hidrometalurgia. Para el siguiente capítulo III, se ahondará en la dirección de las aplicaciones del carbón activo de diferentes precursores, aportando datos acerca de sus usos por industria, capacidad de absorción comparativa entre variadas fuentes o precursores, identificando algunos equipos y sistemas empleados en la industria para la implementación de este tipo de absorbente. Además se encuentra una explicación breve, acerca de la absorción de oro en absorbentes de carbón activo, entregando gráficas de cinéticas conocidas de adsorción y elución.

## 2.9 Bibliografía

1. [www.aguapedia.net](http://www.aguapedia.net). Manual de carbón Activo. Máster en ingeniería del Agua. E.U. Politécnica. U. Sevilla, España.

## ***CAPÍTULO III***

### ***- Aplicaciones del Carbón Activado -***



### 3.1 Aplicación del Carbón Activo en Industria de Alimentos y Bebidas

El uso de Carbón Activado para la Industria de Bebidas, Jugos y Cerveza es muy amplio y abarca gran parte de las importaciones de carbón. La forma de seleccionar este tipo de carbones corresponde en medidas generales a los Índices de adsorción diversos que se pueden testear a nivel de laboratorio, tales como: Índice de N° de Yodo  $750 - 1000 \left( \frac{mg}{g} \right)$ , los cuales son de forma general los parámetros más evaluados y exigidos para esta categoría de adsorbente. Ya que el estándar válido por parte de los Carbones Activados para la industria de alimentos queda en manos de estos índices, una aplicación que requiere de mayores pruebas es la aplicación en la industria minera.

## **3.2 Adsorbatos en Industria de Alimentos y Bebidas**

Históricamente, la adsorción en el tratamiento de aguas se ha aplicado a la eliminación del olor y el sabor. Actualmente, se dirige más hacia la eliminación de compuestos orgánicos naturales o sintéticos.

La experiencia demuestra que los carbones activos son buenos adsorbedores, ya que son adsorbentes de amplio espectro. La mayoría de las moléculas orgánicas se fijan en su superficie, siendo las que peor se fijan las moléculas más cortas y las más polares (alcoholes y ácidos de menos de tres átomos de carbono). Las moléculas más pesadas se adsorben con mayor facilidad. Como los compuestos más fácilmente biodegradables son los que poseen un menor rendimiento de absorción, el tratamiento de adsorción adquiere un carácter complementario muy apreciado, en relación con el tratamiento biológico de estos contaminantes.

### **3.2.1 Compuestos Orgánicos**

En general, cuanto menos soluble en el agua es un compuesto orgánico, mejor se adsorbe a partir de su disolución. Esta es la regla de Lundelius. Análogamente, el compuesto menos polar es el mejor adsorbido a partir de sus soluciones acuosas polares, sobre carbón poco o nada polar. Ambas reglas cualitativas surgen de la necesidad que tiene una molécula orgánica de romper las uniones disolvente- adsorbato para poder adsorberse. Estos enlaces son generalmente más fuertes cuando el adsorbato es muy soluble en el agua o presenta con este disolvente una interacción dipolo – dipolo. Las moléculas orgánicas son, en general, las menos solubles, y tienden a difundirse más lentamente a través de los poros, adsorbiéndose con mayor dificultad cuanto más grandes sean, al no poder penetrar fácilmente en los poros más pequeños.

Los tipos de compuestos orgánicos según su capacidad de adsorción sobre Carbón Activado:

1. Compuestos Orgánicos Fácilmente Adsorbibles:

- Disolventes Aromáticos: Benceno, tolueno, nitrobenzenos, etc.
- Aromáticos Clorados: PCBs, clorobencenos, cloronaftaleno.
- Fenol y Clorofenoles: Aromáticos policíclicos: Benzopirenos, etc.
- Pesticidas y Herbicidas: DDT, aldrin, clordane, .BHCs, heptaclor, etc.
- Clorados No Aromáticos: Tetracloruro de carbono, ésteres cloroalquílicos, hexaclorobutadieno, etc.
- Hidrocarburos de Alto Peso molecular: Tintes, gasolina, aminas, compuestos húmicos.

2. Compuestos Orgánicos Poco Adsorbibles:

- Alcoholes.
- Cetonas de bajo peso molecular, ácidos, aldehidos.
- Azúcares y almidones.
- Coloides orgánicos de peso molecular muy alto.
- Alifáticos de bajo peso molecular.

Otros factores relacionados con la adsorción de compuestos orgánicos tienen que ver con las afinidades químicas específicas entre los grupos funcionales de] adsorbente y el adsorbato. Los fenoles sustituidos, por ejemplo, se adsorben mejor que los halometanos o el etileno. Estos compuestos orgánicos volátiles son disolventes industriales, a menudo presentes en altas concentraciones. Su eliminación es difícil o requiere frecuentes regeneraciones de los lechos.

Los hidrocarburos policíclicos aromáticos y las nitrosaminas se adsorben rápidamente. Como quiera que no suele haber mucha información disponible sobre la adsorción de las especies orgánicas con Carbón Activo granular, es con frecuencia necesario realizar ensayos en tanque o en columna en laboratorio, antes de pasar a predecir la eficacia en la eliminación de tales compuestos en un lecho a gran escala. La mayoría de los compuestos poco adsorbibles son muy solubles y de peso molecular bajo; pero también hay otros de peso molecular muy elevado. En el caso de los ácidos orgánicos y de las bases, la adsorción depende mucho del pH, eliminándose preferentemente las moléculas de tipo neutro.

### **3.2.2 Compuestos Inorgánicos**

Algunos compuestos inorgánicos pueden eliminarse por adsorción sobre Carbón Activo. Metales a nivel de trazas, como el mercurio, el arsénico y el plomo pueden ser eliminados con Carbón Activo granular. La mayoría de los cationes y aniones presente en las aguas naturales no se adsorben, como es el caso del calcio, sodio, ortofosfatos, nitratos y haluros. Una excepción es el fluoruro, que es eliminado, tanto por alúmina activada como con carbón.

Metales y Compuestos Inorgánicos Clasificados por su Potencial Adsorción Sobre Carbón Activado:

- ☑ Metales fácilmente adsorbibles: Antimonio, arsénico, bismuto, cromo, estaño.
- ☑ Metales de potencial de adsorción intermedio: Plata, mercurio, cobalto, zirconio.
- ☑ Metales de potencial de adsorción intermedio - bajo: Plomo, níquel, titanio, vanadio, hierro.
- ☑ Metales con bajo potencial de adsorción: Cobre, cadmio, zinc, bario, selenio, molibdeno, manganeso, wolframio, radio.
- ☑ La **Tabla 3.1** muestra compuestos inorgánicos específicos en relación a su potencial de adsorción, de forma cualitativa:

| Otros Compuestos Inorgánicos | Potencial de Adsorción |
|------------------------------|------------------------|
| Nitrato                      | Baja                   |
| Fosfato                      | Baja                   |
| Cloro                        | Alta                   |
| Bromo                        | Alta                   |
| Iodo                         | Alta                   |
| Cloruro                      | Baja                   |
| Bromuro                      | Baja                   |
| Ioduro                       | Baja                   |
| Fluoruro                     | Alta                   |

**Tabla 3.1 – Niveles de Adsorción Cualitativa del Carbón Activo Comercial – La Chira Martínez, Reysond Renato:** <http://www.slideshare.net/renatolachira/carbn-activado>.

Los metales pueden reaccionar en los grupos funcionales oxigenados del carbón, desplazando a los iones de hidrógeno por intercambio iónico. Las superficies del carbón también pueden dar lugar a precipitados de sales metálicas por nucleación o coagulación.

### 3.3 Selección del Carbón Activado Granular (CAG)

La primera consideración en el diseño de un sistema de adsorción con Carbón Activado Granular es la selección del carbón. La manera más precisa de realizarla es mediante pruebas dinámicas en columnas Piloto. Sin embargo, éstas requieren de mucho tiempo, y el pretender aplicarlas a toda la gama de carbones que puede haber disponibles en el mercado, sería muy costoso y Poco práctico.

Como alternativa, puede empezarse por una preselección rápida de solo aquellos carbones de los que a priori pueden esperarse los mejores resultados. Después de ésta, pueden hacerse los estudios detallados que permitan detectar el Carbón Activado Granular idóneo de entre aquellos que se habían elegido. La selección Preliminar mencionada puede hacerse basándose en:

- La materia prima de la que parte el Carbón Activado Granular.
- Las especificaciones y normas de calidad.
- Isotermas de adsorción.

En cuanto a la materia prima, ya que ésta determina el tamaño de los poros predominantes de un Carbón Activado, es posible predecir el tipo de moléculas que se retendrán de manera preferencial. Por lo tanto, de acuerdo a la materia prima, y conociendo la composición de los contaminantes presentes en el agua, se puede hacer una selección preliminar del tipo de carbones más adecuados.

La segunda propiedad del Carbón Activado Granular en orden de importancia es la dureza, que también depende de la materia prima. Cuando la mayoría de los contaminantes son de bajo peso molecular, el Carbón Activado Granular más adecuado, por su diámetro de poros, suele ser de concha de coco. Al

ser éste el de mayor dureza no existe conflicto al respecto. Por otro lado, si los contaminantes son de alto peso molecular, los carbones de madera o los ligníticos son los más apropiados. Aquí surge el problema de la falta de dureza de los mismos. En este caso puede requerirse que éstos se hayan sometido a un proceso de peletización que les brinde la dureza que no tienen de manera natural.

Respecto a las especificaciones, son propiedades del Carbón Activado Granular que reporta el fabricante, y que, entre otras cosas, sirven como apoyo en la preselección de carbones. Por otro lado, son un complemento que se toma en cuenta, además de los resultados de otras pruebas, para elegir el carbón más conveniente desde el punto de vista de costo-beneficio. Por ejemplo, una de las especificaciones es el contenido de humedad; mientras mayor es ésta, menor es el porcentaje de carbón neto que suministra el fabricante y, por lo tanto, el precio neto es mayor.

Finalmente, las isotermas de adsorción son resultados de estudios con los que se determina la máxima capacidad que tiene un adsorbente en la retención de un soluto o de una mezcla de solutos. Los datos de isotermas de adsorción pueden encontrarse en la literatura, o bien pueden determinarse mediante pruebas relativamente sencillas.



## **3.4 Modos de Operación y Configuración**

### **3.4.1 Flujo Ascendente y Descendente**

El Carbón Activado Granular adsorbe independientemente de que el fluido circule en sentido ascendente o descendente. Por lo tanto, en ambos casos, las dimensiones de la cama y del equipo son iguales. Cuando el flujo es descendente, el carbón también actúa como filtro, reteniendo los sólidos suspendidos en la parte superior de la cama. La desventaja está en que hay que contar con una bomba capaz de vencer la caída de presión, que puede llegar a ser considerable cuando hay presencia de sólidos suspendidos. Al llegar a ser inaceptable la caída de presión (en donde la presión que ejerce la bomba se encuentra cercana a la presión ejercida por los sólidos en la cama superior y el carbón activo), hay que efectuar un retrolavado. La frecuencia del mismo y la cantidad de líquido utilizado para esta operación pueden ser altas. La tubería debe permitir el flujo descendente durante el ciclo de adsorción y ascendente durante el retrolavado.

La adsorción en flujo ascendente puede realizarse manteniendo la cama de carbón compacta o fluidizada. El segundo caso es el más común y se conoce como adsorción en cama expandida, que se utiliza en el tratamiento de líquidos con un alto contenido de sólidos suspendidos. La mayoría de estos sólidos no se retienen, sino que pasan entre las partículas de carbón a lo largo de toda la cama y salen con el efluente tratado, evitando así un taponamiento prematuro, y las consiguientes pérdidas de tiempo y de agua para el lavado. En este modo de operación, la caída de presión es relativamente baja y sólo se requieren lavados ocasionales para remover sólidos suspendidos que se hayan acumulado. La tubería es más simple que en el caso de flujo descendente, ya que la dirección del flujo en el ciclo de adsorción es la misma que en el de lavado.

En los sistemas de cama expandida es importante mantener un buen control del flujo para lograr la expansión sin llegar a arrastrar las partículas de carbón hacia afuera del equipo. Esto es particularmente difícil cuando el líquido es viscoso. En este caso no se utiliza la cama expandida, y si el flujo es ascendente se restringe la parte superior de la cama para mantenerla compacta.

### 3.4.2 Flujo Por Gravedad y Flujo a Presión

Los dos tipos de adsorbedores de Carbón Activado Granular que existen para el tratamiento de agua y de líquidos en general, son el de flujo por gravedad y el de flujo a presión. El primero se utiliza principalmente en aplicaciones que tratan grandes volúmenes, como es el caso de las plantas municipales de potabilización o de tratamiento de agua residual.

En este caso, son de cemento reforzado y su sección suele ser rectangular. Normalmente no cuentan con una tapa superior, excepto en el caso de que el objetivo sea el evitar ensuciamiento ocasionado por hojas y polvo. También existen adsorbedores de flujo por gravedad de tamaño pequeño, que pueden ser tanques de acero o plástico. Estos sólo se utilizan cuando no existe la posibilidad de bombear el fluido.

Los adsorbedores de flujo a presión son de acero o de fibra de vidrio. Generalmente son cilíndricos verticales, de tapas formadas, y se trabajan a presiones inferiores a  $7.0 \left( \frac{kg}{cm^2} \right)$ . Aunque su operación requiere de bombeo, tienen la ventaja de poder utilizar mayores cargas hidráulicas flujo por unidad de área de sección, lo que significa que son de menor tamaño por unidad de volumen de líquido tratado que los de flujo por gravedad. Las características básicas de los adsorbedores se muestran en la **Tabla 3.2**. Existen además otras que los diferencian entre sí, como los distribuidores, colectores del líquido y los métodos de soporte de la cama.



### Características Básicas de los Adsorbentes:

| <b>Tipo de Adsorbedor</b> | <b>Material</b>                      | <b>Diámetro</b>                | <b>Altura Cama CAG</b> | <b>Comentarios</b>  |
|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|------------------------|---|
| Flujo por gravedad        | Cemento reforzado                    | Usualmente sección rectangular | Hasta 1.2 m            | La relación largo-ancho usualmente es de 2//1. requieren de un área relativamente grande    |
| Flujo a presión           | Acero carbón recubierto internamente | Hasta 3.5 m                    | Hasta 10.0 m           | Requieren de un área relativamente pequeña  |
| Flujo a presión           | Acero inox 316 o fibra de vidrio     | Hasta 1.5 m                    | Hasta 3.0 m            | Requieren de un área relativamente pequeña. Suelen ser rentables en tamaños no muy grandes. |

**Tabla 3.2 – Características Básicas Típicas de los Adsorbedores.**

## 3.5 Configuración de Adsorbedores de CAG

1. El Carbón Activado Granular puede aplicarse en sistemas:
  - De una Sola Columna.
  - De Múltiples Columnas (**Figura 3.1**):
    - En Paralelo.
    - En Serie.
    - Combinadas en Serie – Paralelo.
  
2. La operación en una sola columna o en un sistema de múltiples columnas en paralelo es la más conveniente cuando:
  - La zona de transferencia de masas (ZTM) es muy corta. Es decir, la altura de la cama de carbón necesaria para eliminar totalmente el contaminante, es pequeña en proporción a la altura total de la cama.
  - El tiempo de vida útil del Carbón Activado Granular es relativamente alto >10 regeneraciones, por lo tanto, el costo de reemplazo o de regeneración es mínimo respecto al de toda la operación.
  - No se justifica una segunda o tercera columna, debido a que la disminución en el costo del Carbón Activado Granular, a causa de su mejor aprovechamiento, no cubre la inversión en equipo adicional.

De otro modo, debe diseñarse un sistema en serie de dos o más columnas. Además, existe una situación particular en la que lo más probable es que se requiera el sistema en serie. Se trata de aquella en la que la altura de una sola columna es mayor que la del lugar en el que ésta se requiere instalar.

Los sistemas en paralelo se aplican en el caso de que el flujo que requiera tratarse sea muy considerable, o en aquel en el que la caída de presión en un solo equipo, fuera a ser muy grande. Con un sistema en paralelo, la potencia de bombeo, compresión o ventilación es menor, y en el caso de líquidos, particularmente de los que son viscosos, los materiales de las columnas y de las tuberías requieren de un menor espesor.

☑ Diagrama de Sistemas Múltiples de Columnas:

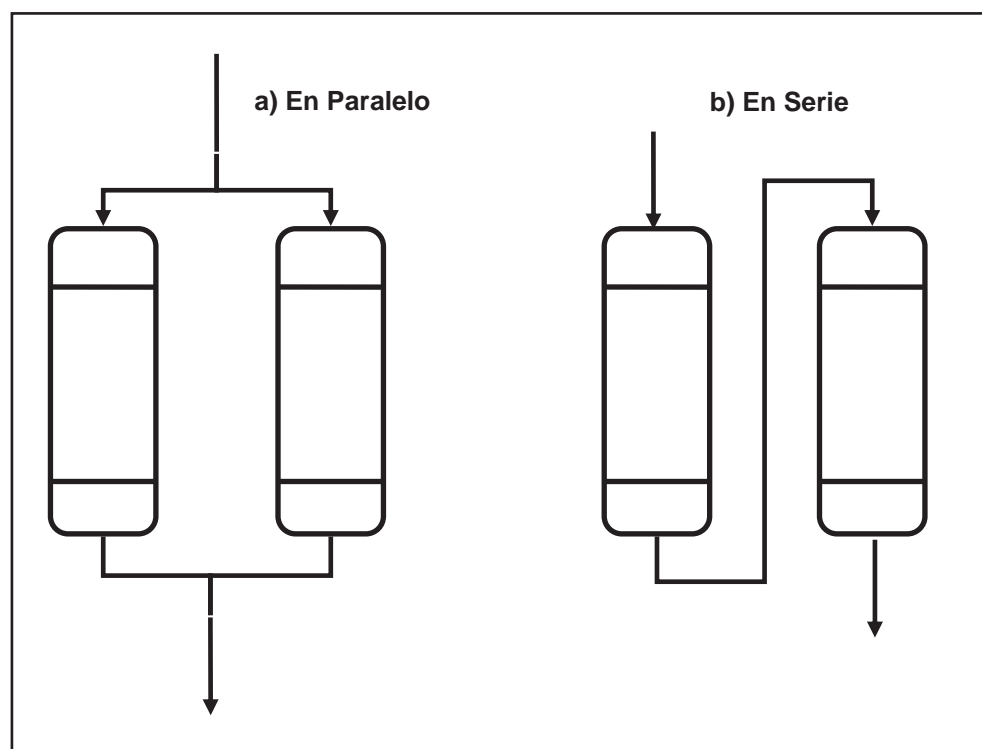


Figura 3.1 – Sistemas Típicos de Múltiples Columnas.

Las columnas son iguales entre sí, se distribuyen con una separación uniforme, reciben la misma alimentación y descargan en un cabezal común. Estos sistemas también se utilizan cuando resulta más práctico o económico el uso de dos o más columnas de menor diámetro que el de una sola. En sistemas de una sola columna o en sistemas en paralelo, el carbón que se descarga para su regeneración o disposición final, normalmente no está totalmente agotado. Ello se debe a que la ZTM aún está dentro de la columna cuando se requiere la reposición.

En los sistemas en serie, el efluente de una columna es el influente de la siguiente. Su operación permite una alta pureza en el efluente y el aprovechamiento de toda la capacidad del carbón utilizado. Cuando se ha saturado el carbón de la primera columna en la serie, se descarga para regenerarse o descartarse, y se conecta otra columna con carbón fresco al final de la serie. El carbón removido está totalmente agotado o más agotado que el de las siguientes columnas en la serie, debido a que la ZTM ya terminó de pasar por ahí. Por lo tanto, los costos de operación de estos sistemas suelen ser menores que para los sistemas de una sola columna o los sistemas en paralelo que traten el mismo fluido.

Un sistema combinado en serie- paralelo tiene, tanto las ventajas de mayor eficiencia de los sistemas en serie como las de baja caída de presión y practicidad de los sistemas en paralelo. Todo lo anterior se aplica a sistemas de lecho fijo, en los que el carbón permanece estático y el fluido circula en sentido ascendente o descendente. Es decir, incluye los sistemas en cama expandida. Sin embargo, no incluye a los sistemas de cama pulsante que se describen a continuación.

## 3.6 Cama Pulsante

La cama pulsante es aquella en la que el carbón se mueve en sentido opuesto al del flujo. El líquido fluye hacia arriba mientras una porción del carbón agotado se desaloja por el fondo y un volumen igual de carbón virgen o regenerado se agrega por la parte superior. La cama pulsante se comporta como los sistemas de cama fija en serie. La remoción de un volumen de carbón por el fondo de la columna pulsante equivale a la remoción del carbón en la primera columna del sistema en serie.

Los sistemas de cama pulsante pueden operar en forma continua o semicontinua. En la primera, constantemente se está removiendo el carbón agotado del fondo, mientras se está agregando carbón virgen o regenerado por la parte superior. En la operación semicontinua, que es la más común, un cierto volumen de carbón agotado se remueve del fondo a ciertos intervalos, por ejemplo de una vez cada 8 h, y un volumen equivalente de carbón fresco se agrega por la parte superior.

Entre el sistema de camas múltiples en serie y el de cama pulsante, se recomienda el primero cuando el líquido contiene sólidos suspendidos, cuando el líquido es biológicamente activo o cuando el consumo de carbón es relativamente bajo. Las dos primeras razones se deben a que el lavado de los sistemas de cama pulsante resulta complicado.

### **3.7 Aplicación del Carbón Activo en la Minería**

El uso del Carbón Activado en la metalurgia extractiva se ha intensificado en las últimas dos décadas, empleándose en los procesos de flotación de minerales, tratamiento de aguas industriales, purificación de electrólitos, recuperación de metales disueltos en soluciones acuosas, como modificador del potencial REDOX, como catalizador, etc. El Carbón Activado se emplea además para recuperar el oro contenido en soluciones originadas en diversos procesos de cianuración, entre los que figura actualmente el de lixiviación en pilas, Carbón en pulpa (CIP) y Carbón en lixiviación (CIL).

Por lo señalado anteriormente la tendencia actual es adoptar la tecnología del Carbón Activado para la recuperación de oro desde soluciones alcalinas diluidas que contengan cantidades muy pequeñas de oro en solución, es decir, su aplicación ha permitido explotar yacimientos de baja ley, con el concurso de métodos de bajo costo de lixiviación, como es la lixiviación en pilas o para tratar pulpas provenientes de agitación sin utilizar lavado en contracorriente, como en el proceso de Carbón en Pulpa, rebajando los costos de capital para la planta.

El Carbón Activado usualmente utilizado para este proceso es el Carbón Activado Granular (CAG), y entre los números de malla preferidos se encuentran: malla 6 x 12, esto quiere decir que el tamaño de gránulo del 90% del Carbón Activado está entre 3,36 mm y 1,69 mm, el restante 10% puede estar fuera de estos rangos; 6 x 20 (granulometría entre 3,36 mm y 0,85 mm) y 8 x 30 (granulometría entre 2,38 mm y 0,85 mm), existiendo otras granulometrías en el mercado. Los carbones más usados son los fabricados a partir de la cáscara de coco, de maní y el cuesco de carozos debido a su dureza y mayor poder adsorbente. El Carbón Activado fabricado a partir de la concha o cáscara de coco es similar al obtenido a partir de cuescos de duraznos.



El Índice de Yodo necesario para esta aplicación es de 950 (mg/g) y un 5% de cenizas. De acuerdo a investigaciones realizadas las siguientes empresas utilizan Carbón Activado para la recuperación de minerales:

- Minera Refugio (Chile).
- Lkn Barrick: Minera Pierina (Perú).
- Minera Yanacocha y Minera Tamboraque (Perú).
- Cerro Vanguardia (Argentina).
- Mantos de Oro: Mina La Coipa (Chile).
- Minera Queiroz (Brasil).
- Grupo Peñoles y Grupo Immsa (México).
- Minera Bella Rica y Minera Quebrada Fría (Ecuador).
- Pequeña minería de Chile, Perú, Ecuador, Argentina, México y Brasil.

Los niveles de consumo de Carbón Activado de Minera El Refugio alcanzan las 13 toneladas diarias de Carbón Activado. El Carbón Activado es reutilizado hasta un máximo de 20 veces. El consumo anual de Minera Refugio varía entre 100 y 130 toneladas anuales de Carbón Activado Granular y su producción de oro llega a unas 250.000 onzas anuales. En el caso de Minera Queiroz de Brasil el consumo de Carbón Activado es de aproximadamente 25 (Ton/Año). Minera Yanacocha, ubicada en Perú, posee 3 plantas de columnas de Carbón Activado cuya capacidad total es de  $8.600 \left( \frac{m^3}{h} \right)$ .

Para tener una idea del nivel de consumo de Carbón Activado se presenta la **Tabla 3.3**, donde se compara la producción de oro de las mineras que

utilizan Carbón Activado Granular. Debido a la dificultad para acceder a la información de niveles de consumo de cada minera, se estimó el consumo de las mineras marcadas con (\*) en base a la información entregada por las otras mineras, asumiendo que existe una proporción entre la cantidad de onzas recuperadas anualmente y la cantidad de Carbón Activado necesario para su recuperación.

Producción de Oro y Estimaciones de Consumo de Carbón Activado.

| <b>Minera</b>        | <b>Onzas Anuales</b> | <b>Consumo (ton/año)</b> |
|----------------------|----------------------|--------------------------|
| Refugio              | 250.000              | 100                      |
| Coipa                | 300.000              | 120                      |
| Pierina              | 600.000              | 240                      |
| Yanacona             | 650.000              | 260                      |
| Tamboraque           | 35.000               | 15                       |
| Cerro Vanguardia (*) | 230.000              | 80                       |
| Queiroz (*)          | 80.000               | 25                       |

**Tabla 3.3 – Producción de Oro y Estimaciones de Consumo de C.A.**

Se estima que el consumo anual de las mineras latinoamericanas que usan Carbón Activado supera las 800 toneladas anuales, sin considerar mineras de las cuales no se pudo obtener ninguna información (por ejemplo, Grupo México, Grupo Immsa, pequeña minería en Perú, Chile, México y Brasil, entre otros).

### 3.8 Fenómeno de Adsorción de Cationes

La adsorción ocurre cuando una molécula puede llegar a la superficie interna de la partícula del Carbón por difusión dentro de los poros, como resultado, la estructura porosa puede tener una marcada influencia en la cinética de adsorción. Esta capacidad de adsorber está relacionada con el área superficial del Carbón, cuyos valores deben estar entre 100 y 1.500  $\left[ \frac{m^2}{g} \right]$ .

La ubicación dentro de este rango, así como los grupos electroiónicos depositados en la superficie del Carbón permiten a éste adsorber moléculas o iones de una forma selectiva. El mecanismo es básicamente, la atracción y fijación de moléculas polares o no polares por medio de enlaces débiles. Algunos investigadores han estudiado y determinado dos tipos de procesos de adsorción: física y química.

La adsorción física, generalmente es reversible, incluye fuerzas de Van der Waals, interacciones dipolo-dipolo y puentes de hidrógeno; la adsorción química emplea fuerzas homopolares, como enlaces iónicos y covalentes y generalmente es irreversible. En la mayoría de los casos la adsorción puede clasificarse como física por naturaleza, fenómeno que se presenta en la adsorción de gases como por ejemplo la adsorción de metano y de hidrógeno (fisisorción).

Generalmente la adsorción de cationes a partir de soluciones cargadas con metales, asociados con elementos orgánicos, depende de la capacidad adsortiva del Carbón Activado y esta a su vez, está determinada por condiciones como: pH de la solución, tamaño del catión hidratado, su carga y las propiedades particulares del elemento catiónico.

## 3.9 Adsorción de Oro en Carbón Activado

### 3.9.1 Cinética de Adsorción

La velocidad inicial de adsorción de cianuro de oro sobre el Carbón Activado es elevada, ya que la adsorción tiene lugar en los sitios más asequibles en los macroporos y probablemente, mesoporos, pero la cinética se hace más lenta a medida que se aproxima a las condiciones de equilibrio, como se muestra en la **Figura 3.3**. En esas condiciones, la velocidad de adsorción es controlada por el transporte de masa del  $Au(CN)_2^-$  a través de la capa límite hacia la superficie del Carbón Activado. Sin embargo, cuando se ocuparon todos los sitios fácilmente asequibles, se establece un pseudo-equilibrio, debajo del cual la adsorción tiene que tener lugar en los microporos. Esto requiere de la difusión del cianuro de oro a lo largo de los poros en la estructura del Carbón, donde se desarrolla a través de un proceso más lento debido a la longitud y tortuosidad de los poros.

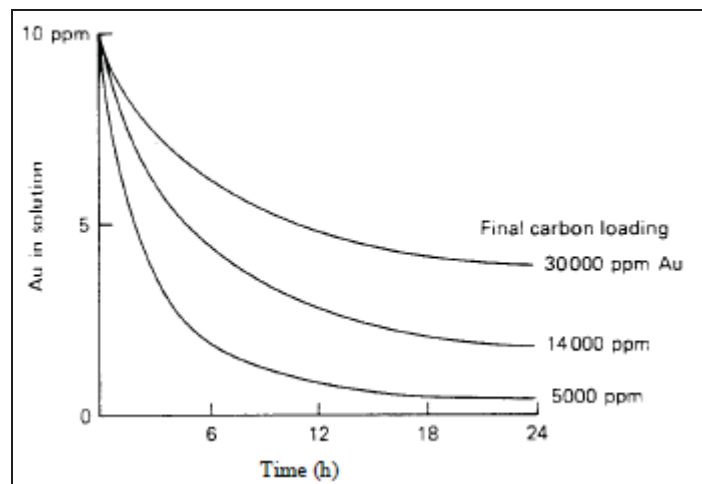


Figura 3.3 – Ejemplo de Cinética de Adsorción de Oro Sobre Carbón Activado. Texto: Introducción a la Hidrometalurgia. Universidad de Atacama.

La velocidad de adsorción de aurocianuro en carbón activado puede ser descrita a continuación por la ecuación **ecu. 3.1**:

$$\log C_t = m \cdot t + \log C_0$$

ecu. 3.1

Donde:

- $C_t$  = Concentración de oro al tiempo t.
- $C_0$  = Concentración de oro al tiempo inicial.
- $m$  = Constante de velocidad.

### 3.9.2 Factores que Afectan la Adsorción

- Factores Físicos:** A continuación se muestran algunos de los factores físicos que afectan la adsorción, en la **Tabla 3.4**:

| <b>Variable</b>                           | <b>Efecto</b>   |
|---|---|
| <i>Tipo de Carbón Activo</i>              | <i>Varios</i>   |
| <i>Tamaño de las partículas de Carbón</i> | <i>Un tamaño mayor disminuye la velocidad de adsorción, por lo menos durante la primera etapa.</i>  |
| <i>Agitación</i>                          | <i>Una agitación más fuerte aumenta la velocidad de adsorción, porque la mayoría de los sistemas son operados solamente hasta el pseudo – equilibrio.</i> |
| <i>Densidad de pulpa</i>                  | <i>Disminuye la cinética</i>  |

**Tabla 3.4 – Factores Físicos que Afectan la Adsorción de Oro en Carbón Activado.**



**Factores Químicos:** A continuación se muestran algunos de los factores químicos que afectan la adsorción, en la **Tabla 3.5**.

| <b>Variable</b>                       | <b>Efecto</b>   |
|---------------------------------------|---|
| <i>Temperatura</i>                    | <i>La adsorción de oro sobre Carbón Activado es exotérmica, un aumento en la temperatura disminuye la capacidad de carga, lo que explica el fenómeno de adsorción a temperatura más alta. Al contrario, favorece la cinética.</i> |
| <i>Concentración de oro</i>           | <i>Aumenta la cinética y la capacidad de carga</i>  |
| <i>Concentración de cianuro</i>       | <i>Disminuye la cinética y la capacidad de carga</i>  |
| <i>pH solución</i>                    | <i>En el rango de 9 – 11, tiene poco efecto.</i>  |
| <i>Fuerza iónica</i>                  | <i>Aumenta la cinética y la capacidad de carga</i>  |
| <i>Concentración de otros metales</i> | <i>Si hay otros metales que compiten por los sitios activos, eso disminuye la cinética y la capacidad de carga para el oro.</i>   |

**Tabla 3.5 – Factores Químico que Afectan la Adsorción de Oro en Carbón Activado.**

- ☑ **Isotermas de Adsorción:** A continuación se muestra la **Figura 3.4.** la cual representa distintas isotermas de adsorción para la extracción de oro:

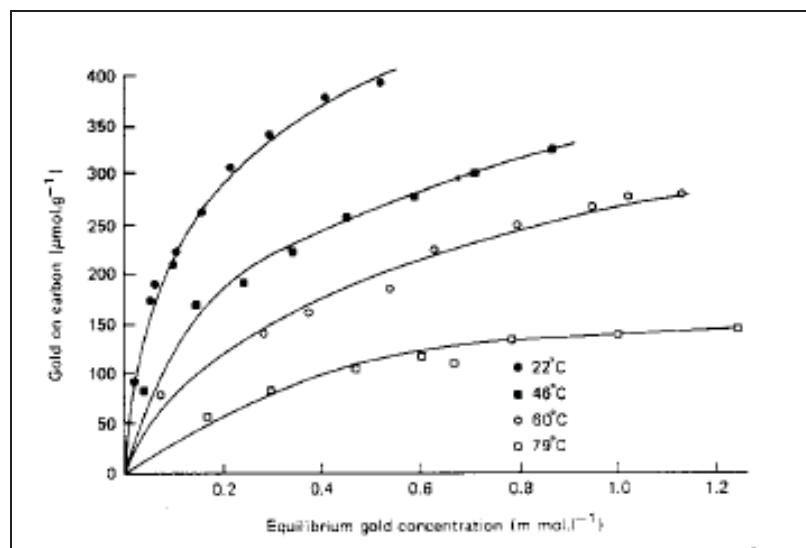
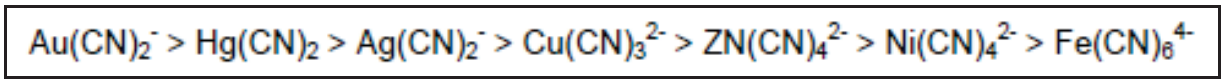


Figura 3.4 – Isotermas de adsorción a distintas temperaturas (Condiciones experimentales: 50 ml solución, 0.25 g Carbón, 2.8 g/l CaCl<sub>2</sub>, 0.5 g/l KCN). Texto: Introducción a la Hidrometalurgia. Universidad de Atacama.

### 3.9.3 Selectividad

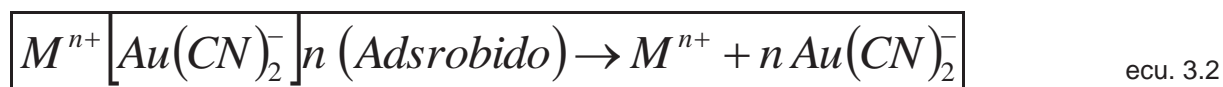
El Carbón Activado comercial es altamente selectivo para la adsorción de Au y Ag en vez de otros metales, con la excepción del mercurio. El orden de preferencia para varios complejos de metales se indica a continuación:



### 3.10 Elución

El Carbón Activado previamente cargado con oro y otros metales en el proceso de adsorción debe ser sometido a una etapa de elución para desorber los metales del Carbón. Eso produce un volumen pequeño de solución con alta concentración en oro, adecuada para su posterior recuperación, y permite al Carbón ser reciclado hacia el circuito de adsorción.

El proceso de desorción ocupa al revés el mismo fenómeno que el proceso de adsorción, y factores que inhiben la adsorción van a favorecer la desorción, ver ecuación descrita en la ecuación **ecu. 3.2**:



En la práctica, generalmente la elución se realiza poniendo el Carbón en una columna en contacto con un flujo ascendente de una solución caliente y con alta concentración en cianuro, ver **Tabla 3.6**.

| <b>Variable</b>    | <b>Efecto</b>   |
|--------------------|---|
| <i>Temperatura</i> | <i>Es el factor más importante; la velocidad de elución a 180 °C es ocho veces mayor a la velocidad de elución a 90 °C.</i> |

**Tabla 3.6 – Efectos v/s Variables en la Elución de Aurocianuro desde Carbón Activado.**



| <b>Variable</b>                            | <b>Efecto</b>  |
|--|--|
| <i>Concentración de cianuro</i>            | <i>Favorece la desorción, porque los iones <math>CN^-</math> compiten con el oro para los sitios de adsorción.</i>   |
| <i>Fuerza iónica</i>                       | <i>Debe ser la más baja posible. Por ejemplo: es posible desorber el oro con agua desionizada pura.</i>  |
| <i>pH solución</i>                         | <i>Un pH alto favorece la desorción, porque los iones <math>OH^-</math> compiten con el oro para los sitios de adsorción.</i>                                  |
| <i>Solventes orgánicos</i>                 | <i>Efecto positivo porque aumentan la actividad de otras especies iónicas en solución, como el <math>CN^-</math></i>   |
| <i>Concentración de oro en la solución</i> | <i>Disminuye la velocidad y eficiencia de la elución</i>   |
| <i>Otros metales</i>                       | <i>La elución de Cu, Ag y Hg se hace preferencialmente al oro, lo que posibilita eventualmente realizar una elución en dos etapas para separarlos del oro.</i> |

**Tabla 3.6 (conti.) – Efectos v/s Variables en la Elución de Aurocianuro desde Carbón Activado.**

Posteriormente, el Carbón debe ser sometido a una etapa de limpieza química (HCl, etc.) y una etapa de reactivación en un horno a 650 - 750 °C con vapor de agua.

### 3.11 Aspectos de Ingeniería

Las etapas comunes del ciclo del Carbón Activado en la mayoría de las plantas de proceso de extracción de oro son:

1. Adsorción del complejo de cianuro y oro sobre el Carbón Activado.
2. Lavado con agua para sacar la solución de impregnación.
3. Desorción (elución), generalmente con soluciones 0.2 % NaCN y 1% NaOH a 90 °C.
4. Lavado con ácido para sacar precipitados de  $CaCO_3$ .
5. Lavado con agua.
6. Secado, calentamiento a 700 °C durante 30 min en ausencia de aire y templado.
7. Reciclaje a la etapa de adsorción.

Dos factores contribuyen a la elección del proceso de adsorción:

- Las propiedades de filtración de la pulpa.
- La presencia de materia orgánica en el minera

Como resultado, se enumeran a continuación los procesos que son actualmente utilizados, la cuales se observan en las **Figuras 3.5 y 3.6**.

1. **Adsorción en columnas:** Cuando la pulpa es fácil de filtrar o cuando se utiliza la cianuración en pilas.
2. **Carbón en pulpa (CIP):** Cuando el mineral contiene mucha arcilla. La pulpa y los pelets de Carbón son agitados en uno o varios estanques; cuando la adsorción se completó, el Carbón, más grueso, es separado de la pulpa por tamizaje.
3. **Carbón en lixiviación (CIL):** Cuando el mineral contiene materia orgánica sobre la cual podría adsorberse el oro, con las consiguientes pérdidas que eso representa.

El Carbón se agrega directamente a la etapa de cianuración, de tal manera que pueda adsorber el  $Au(CN)_2^-$  en cuando se forme. La adsorción y la elución son procesos lentos. Típicamente es necesario 24 horas para adsorber el oro de una solución con una concentración inicial de 10 ppm de Au u 50 horas para la elución. **Una tonelada de Carbón adsorbe alrededor de 10 kg de oro. Aproximadamente 4 litro de solución son suficientes para la elución de 1 kg de Carbón.** A continuación se muestran dos de los principales procesos de adsorción de Aurocianuro en Carbón Activado.

1. Proceso de Adsorción en Columnas (Column Process):

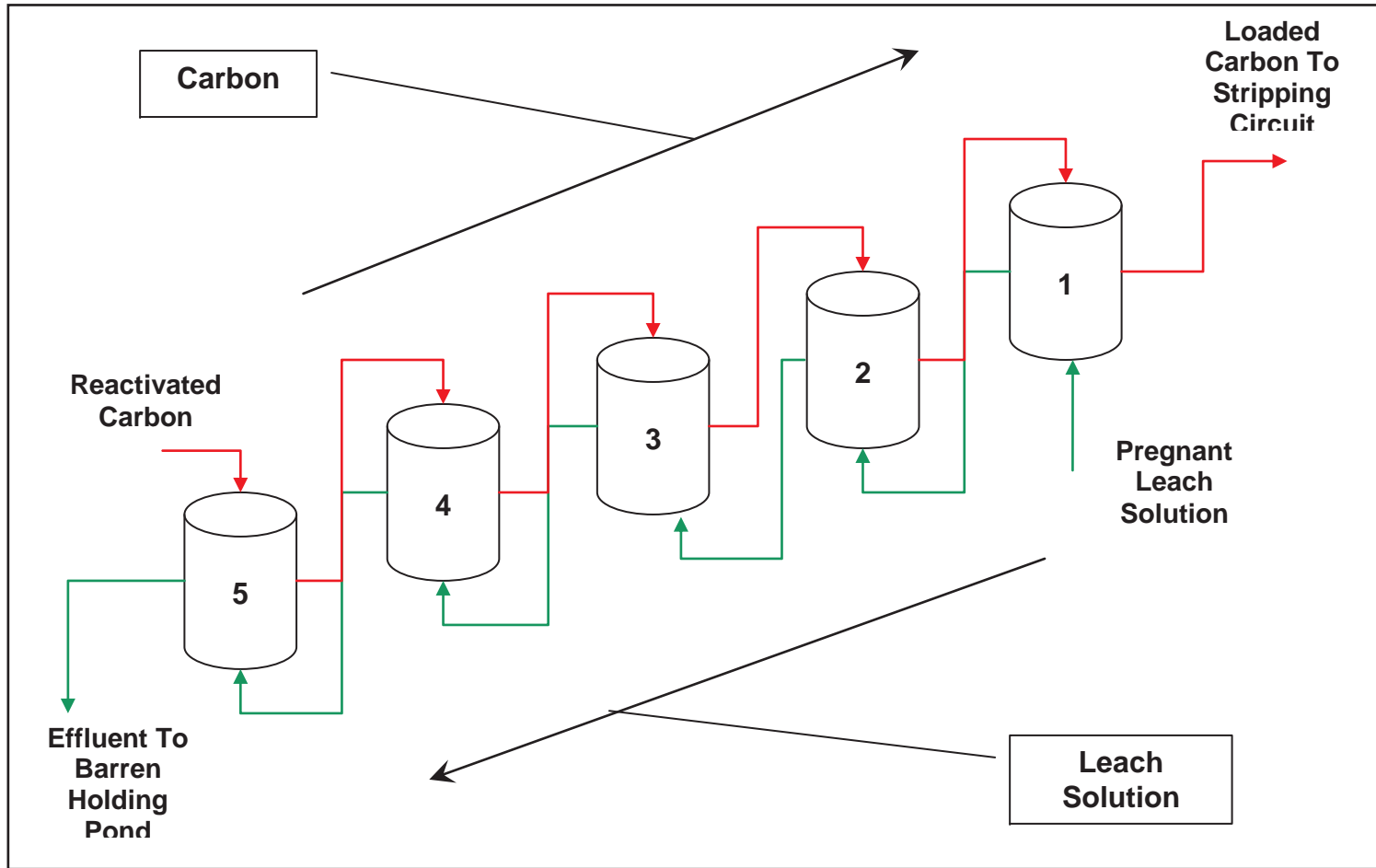


Figura 3.5 – Proceso de Adsorción en Columnas (Column Process). Introducción a la Hidrometalurgia. Universidad de Atacama.

☑ Proceso de Adsorción en Pulpa (Carbon In Pulp, CIP Process):

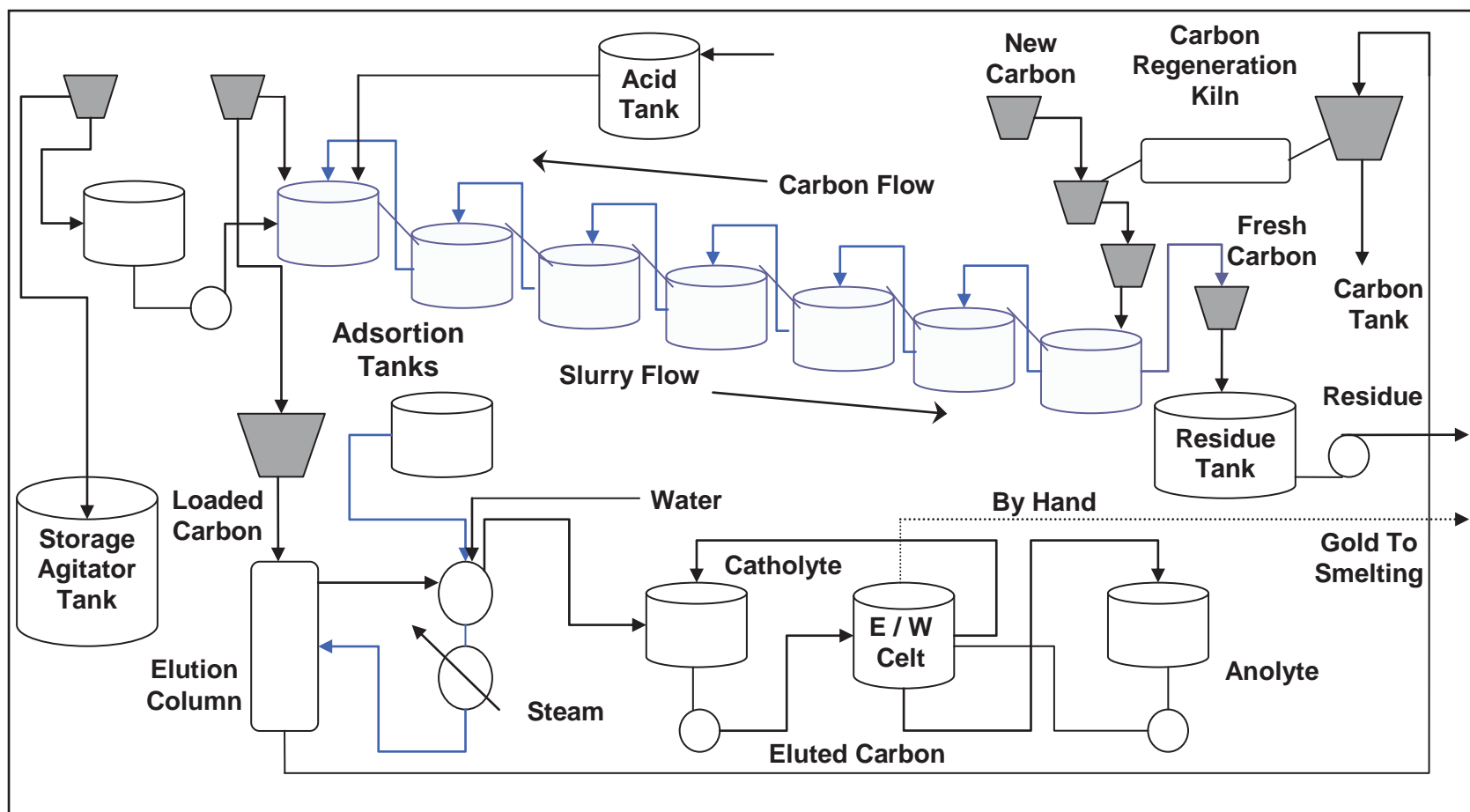


Figura 3.6 – Proceso de Adsorción en Pulpa (Carbón In Pulp, CIP Process). Introducción a la Hidrometalurgia. Universidad de Atacama.

### **3.12 Aplicación del Carbón Activado en la Adsorción de Oro**

Entre las muchas aplicaciones de los Carbones Activados, el proceso de recuperación de oro con Carbón Activado es ideal para el tratamiento de minerales de bajo grado y colas de cianuración mediante el proceso CIP (Carbón en pulpa). Algunos investigadores han descrito modelos cinéticos de adsorción de iones de aurocianuro y argentocianuro sobre el Carbón Activado en medios básicos. En este proceso los iones complejos de cianuro adsorbidos sobre la superficie externa del Carbón, difunden reversiblemente hacia la superficie interna a través de los poros y pueden ser desorbidos, regresando a la fase líquida.

### **3.13      Resumen Capítulo III**

En el presente capítulo hemos estudiado antecedentes en la dirección de las aplicaciones del carbón activo de diferentes precursores, aportando datos acerca de sus usos por industria, capacidad de absorción comparativa entre variadas fuentes o precursores, identificando algunos equipos y sistemas empleados en la industria para la implementación de este tipo de absorbente (CIP – CIL). Además se encuentra una explicación breve, acerca de la adsorción de oro en absorbentes como el carbón activo, entregando gráficas de cinéticas conocidas de adsorción y elución. Para el capítulo IV, tenemos el estudio de la estimación de la materia prima necesaria para nuestro proceso (cáscaras de nueces), su ubicación y disponibilidad productiva, identificando los lugares y empresas asociadas a la producción de frutos secos, y estimando de manera cuantitativa la oferta de cáscaras de nueces en el mercado nacional, encontrando datos acerca de su comercialización por empresa y costos asociados.

## 3.14 Bibliografía

1. [www.aguapedia.net](http://www.aguapedia.net). Manual de carbón Activo. Máster en ingeniería del Agua. E.U. Politécnica. U. Sevilla, España.



***CAPÍTULO IV***  
***- Estimación Materia Prima -***

## 4.1 Introducción

El objetivo de este estudio es detallar las cantidades disponibles de Cáscaras de Nueces a nivel nacional, para así poder calcular la cantidad de Carbón Activado que se logre obtener. Adicionalmente se podría traer Cáscaras desde el extranjero si el costo de estas importaciones desde el punto de vista logístico y comercial sugiere una ventaja comparativa con los recursos existentes en Chile. Como la Cáscara de Nuez es la materia prima se analizó la disponibilidad de este recurso en particular. Las Cáscaras de Nueces se utilizan en la actualidad principalmente como fuente de combustible, también son tratadas como material de desecho sólido, ocupadas para la elaboración de comida de animales y pegamentos entre otros.

Actualmente en la República Popular de China, se produce y comercializa en los mercados mundiales Carbón Activo de Cáscaras de Nueces, el cual posee excelentes propiedades adsorbentes y de un gran valor agregado, este se usa como absorbedor de impureza en las peceras, filtros de piscinas y filtros para potabilizar agua doméstica e industrial.

## 4.2 Alcances del Estudio Económico

En esta sección se realiza un estudio de mercado nacional e internacional para dos tipos de productos, el primero “Cáscara de Nueces comunes, trituradas, de desecho, sin tratamientos especiales”, con información detallada en la base de datos de la Aduana y PROCHILE (de ítem aduanero 14049090), los cuales dan antecedentes de la comercialización y utilización de las Cáscaras de Nueces, donde además sabremos las empresas que participan.

El segundo tipo de producto buscado fue “Nueces de nogal enteras, sin cáscara, frescas o secas”, con información detallada en la base de datos de la Aduana y PROCHILE (de ítem aduanero 08023210), en este caso nos importan las exportaciones de Nueces ya que se exportan sobre el 90% de estas. Determinando la cantidad exportada de las Nueces Sin Cáscaras, se obtendrá por relación experimental la cantidad de Cáscaras remanentes a nivel nacional. Por datos de laboratorio sabemos que la relación entre el fruto y la cáscara se acerca a la unidad, así podremos determinar en base a la eficiencia de carbonización y activación de la cáscara, cuanto Carbón Activado obtendremos producto de los remanentes de la industria nacional. Para esto se compilo información de las siguientes fuentes:

- Departamento de Informática del Servicio Nacional de Aduanas, Registros Aduaneros de Importaciones y Exportaciones Chilenas, Valparaíso.
- Base de datos de PROCHILE, estadísticas de comercio exterior Chilenas.
- Biblioteca Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Ingeniería.
- Contacto Directo con Proveedores.

La información presentada abarca el período comprendido entre Enero de del 2002 a Octubre del 2008, acerca de exportaciones e importaciones de los dos ítems mencionados anteriormente. Las limitaciones presentadas en esta sección se refieren a los periodos de tiempo estudiados, un rango de seis años es considerado representativo del comportamiento de este producto en nuestro país y en el mundo.

## **4.3 Estadística Mercado Nueces de Nogal**

### **4.3.1 Introducción**

Una verdadera transformación han tenido los cultivos de frutos secos y deshidratados en Chile durante los últimos 15 años y el aumento de las producciones se repite en ciruelas, pasas, almendras y nueces. Tanto es así que hoy este país se perfila como el más importante productor del hemisferio Sur e incluso en algunos frutos del mundo entero. Pero el liderazgo no sólo pasa por los volúmenes que se consiguen sino también por la reconocida calidad que se obtiene, y esa es otra constante en los cuatro productos.

El cultivo de frutales de nuez, si bien ha sido tradicional en Chile desde los tiempos de la Colonia, ha tomado especial impulso en la última década. Diversos estudios científicos realizados en años recientes han revelado las ventajas existentes para la salud humana del consumo de frutas secas. Su alto contenido de antioxidantes, flavonoides, compuestos fenólicos y fibra, trae beneficios para la prevención del envejecimiento y las enfermedades cardiovasculares. El cambio de las pautas de consumo hacia alimentos nutritivos ha impulsado el consumo creciente de este tipo de frutas.

Chile se ha convertido en un importante productor y exportador de nueces y almendras. Otros frutales de este grupo están en un incipiente grado de desarrollo, como es el caso del avellano europeo, cultivo que tiene un gran potencial en el país, que fue introducido por la empresa italiana de chocolates Ferrero y del cual ya existen 5.225 hectáreas cultivadas, la mayoría en la Región del Maule. También las pecanas se cultivan con fines comerciales, pero la superficie es aún exigua (29,7 ha). Una evidencia del rol que Chile empieza a tener en el mercado mundial de frutas secas y deshidratadas es la realización en nuestro país del XXVII Congreso Mundial del Comité Mundial de Frutas Secas del INC (International Nut and

Dried Fruit Council), que se llevó a cabo en Santiago de Chile entre el 9 y el 11 de mayo del año 2007 y que contó con la asistencia de cerca de mil personas de más de sesenta países y al cual asistieron los principales representantes de la industria. En gran medida, este logro responde a una fecunda labor de posicionamiento de todo el sector productor y exportador, representado en el Comité de Nueces de FEDEFRUTA (CHILENUT), que en la actualidad despliega acciones para promover el incremento de oferta exportable, consolidar los mercados existentes y penetrar nuevos mercados en el exterior, con apoyo del Fondo de Promoción de Exportaciones del Ministerio de Agricultura y de PROCHILE. En el último Censo agrícola que realizó el Ministerio de Agricultura de Chile entre 2006 y 2007 se contabilizaron las hectáreas que cada cultivo tiene por región, en un intento por hacerlo lo más exacto posible.

#### 4.3.2 Variedades de Nueces Cultivadas en Chile

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| <b>Variedad</b>                 | Las más utilizadas son Serr, Chandler y Howard |
| <b>Época de cosecha</b>         | 15 de marzo 15 de abril                        |
| <b>Zonas de producción</b>      | Principalmente de la Cuarta a la Séptima       |
| <b>Superficie sembrada</b>      | 14.575 hectáreas                               |
| <b>Última producción (2007)</b> | 22 mil toneladas                               |

**Tabla 4.1 – Especificaciones Generales de Variedad, Época de Cosecha, Zona de producción, Superficie Sembrada, y Producción de Nueces en Chile – Fuente: CHILENUT 2007.**

Hasta hace quince años atrás, tradicionalmente hubo nueces en los campos chilenos, pero nunca se pensó en ellos como cultivos de exportación, tanto así que los cosechaban solo cuando se podía sin que importara incluso que el producto se deteriorara. Esto en un contexto donde el mercado era poco serio y no tenía muchos atractivos para meterse. Por otro lado, así como en el crecimiento de la producción de pasas los malos precios en el valor de la uva también han tenido implicancia en la proliferación del cultivo de nueces en Chile. Esto ya que en muchas ocasiones cuando se arrancaron parrones se destinó la tierra para plantar nogales,

pues era una forma de hacerlas más rentables. Y a la larga así fue. A la vez que era necesario buscar nuevas rentabilidades para las tierras, el mercado comenzaba a volverse interesante, los precios y la demanda subían y los productores chilenos vieron su oportunidad y comenzaron a innovar en los cultivos, todo de manera experimental y práctica. Es así como hoy se cuenta con importantes avances en tecnología y conocimientos. Por ejemplo, respecto a las densidades de plantas en las que en las variedades Serr se llega a 200 por hectárea y en la Chandler hasta a 300.

En cuanto a los manejos de fertilización, Vittorio Bianchini, vice presidente de Chilenut, cuenta que para obtener rendimientos atractivos de 4000 a 5000 kilos por hectárea sólo es necesario preocuparse del sodio, fósforo, potasio y algo más del zinc y claro, mucho mejores resultados se pueden obtener si se meten en el tema de los nutrientes. Un poco más de ojo hay que tener con el manejo de riego, este debe ser más prolijo, pues si se cometen errores pueden haber problemas con la *Phytophthora spp.* El ejemplo es claro, si se hace bien la nogalada puede durar hasta 40 años, mientras que de lo contrario ya a los 10 años hay que pensar en hacer un recambio de los árboles.

## 4.4 Mercado Global de Nueces de Nogal Sin Cáscaras

El mercado mundial de nueces de nogal (*Juglans regia L*) se caracteriza por una oferta concentrada en los envíos de EE.UU. al mercado mundial. China es el mayor productor de nueces del mundo y, si bien en su mayor parte las destina a consumo interno, el nivel de sus exportaciones ha crecido 30% entre 2002 y 2006. Otros grandes productores son Irán y Turquía, como se muestra en la **Tabla 4.2**.

### 4.4.1 Producción Mundial Estimada de Nueces con Cáscaras

| Principales Países   | 2004      | 2005      | 2006      | 2007/08 | 2008/09 ** |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|---------|------------|
| <b>EEUU</b>          | 294.775   | 321.985   | 308.440   | 236.000 | 274.000    |
| <b>China</b>         | 440.324   | 502.536   | 499.000   | 384.000 | 400.000    |
| <b>Irán</b>          | 168.320   | 150.000   | 150.000   | n/d     | n/d        |
| <b>Turquía</b>       | 126.000   | 150.000   | 129.614   | 50.000  | 56.000     |
| <b>Subtotal</b>      | 1.029.419 | 1.124.521 | 1.087.054 | 670.000 | 730.000    |
| <b>Otros Países</b>  | 545.809   | 603.233   | 547.079   | n/d     | n/d        |
| <b>Total Mundial</b> | 1.575.228 | 1.727.754 | 1.634.133 | n/d     | n/d        |

Para el Período (2007 – 09), la fuente INC (Internacional Nut and Dried Fruit Council).  
\*\* Estimación INC.

**Tabla 4.2 – Producción Mundial Estimada de Nueces con Cáscaras – Fuente: FAOSTAT (Período 2004 – 06).**

El mercado más relevante es el de Nueces Sin Cáscara, que en 2006 alcanzó a 718 millones de dólares y al cual EE.UU. aporta cerca de un tercio de ese valor. México y Ucrania han visto crecer sus exportaciones a tasas elevadas y China se ha convertido en exportador neto. Chile se ha empujado hasta ocupar el quinto lugar, habiendo incrementado sus exportaciones a una tasa de 33% anual entre 2002



y 2006. Le siguen en importancia Moldavia, Francia, Rumania, India, Uzbekistán, Alemania e Italia.

En 2006 el volumen total exportado se acercó a 300.000 toneladas y su precio medio fue de 4.800 dólares por tonelada. Los precios más altos fueron obtenidos por Italia, Chile, Francia y Alemania, que casi duplicaron el precio medio en ese año. Hay que destacar que actualmente Chile no tiene competidores de peso en el hemisferio sur, tiene la ventaja competitiva de la contra estación y es capaz de llegar con nueces más frescas y de alta calidad justo para la ventana de mayor demanda en Europa, antes de la Navidad.

La calidad y el momento de llegada al mercado justifican el posicionamiento y los buenos precios logrados por la nuez chilena en los mercados de varios países europeos y asiáticos, además de Brasil, que es un importante consumidor. **(Tabla 4.3)**. Los principales compradores de nueces partidas son Alemania, Japón, Corea del Sur y Francia. Corea del Sur, Reino Unido y Turquía han sido los compradores con mayor crecimiento en los últimos años. Corea impone un arancel de 30% a la entrada de las nueces californianas, lo cual da una ventaja a Chile. **(Tabla 4.4)**.

Exportaciones Mundiales de Nueces de Nogal Sin Cáscaras, Período (2002 – 06).

| Exportadores         | Valor Exportado en 2006 (Miles US\$) | Cantidad Exportada en 2006 (Ton) | Precio en 2006 (US\$/Ton) | Tasa Anual de Crecimiento en Valor 2002/06 (%) | Tasa Anual de Crecimiento en Cantidad 2002/06 (%) | Variación en Valor 2005/06 (%) | Participación en Total Mundial (%) |
|----------------------|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--|---|--------------------------------|------------------------------------|
| <b>Total Mundial</b> | 717.775                              | 148.942                          | 4.819                     | 26   | 11  | 31                             | 100                                |
| <b>EEUU</b>          | 247.555                              | 54.910                           | 4.508                     | 26   | 20  | 23                             | 34                                 |
| <b>México</b>        | 108.509                              | 20.856                           | 5.203                     | 44   | 6   | 135                            | 15                                 |
| <b>Ucrania</b>       | 60.253                               | 12.525                           | 4.811                     | 43   | 19  | 40                             | 8                                  |
| <b>China</b>         | 55.921                               | 13.148                           | 4.253                     | 30   | 19  | 21                             | 8                                  |
| <b>Chile</b>         | <b>38.138</b>                        | <b>4.665</b>                     | <b>8.175</b>              | <b>33</b>                                      | <b>18</b>   | <b>40</b>                      | <b>5</b>                           |
| <b>Moldavia</b>      | 37.264                               | 9.163                            | 4.067                     | 12   | 0   | 23                             | 5                                  |
| <b>Francia</b>       | 26.514                               | 3.245                            | 8.171                     | 16   | 8   | 30                             | 4                                  |
| <b>Rumania</b>       | 23.063                               | 5.500                            | 4.193                     | 13   | -3  | -26                            | 3                                  |
| <b>India</b>         | 21.129                               | 3.873                            | 5.455                     | 10   | -4  | 18                             | 3                                  |
| <b>Uzbekistán</b>    | 11.500                               | 3.532                            | 3.256                     | 30   | 12  | 70                             | 2                                  |
| <b>Alemania</b>      | 11.468                               | 1.425                            | 8.048                     | 37   | 27  | 16                             | 2                                  |
| <b>Italia</b>        | 8.189                                | 806                              | 10.160                    | 39   | 29  | 63                             | 1                                  |
| <b>Subtotal</b>      | 649.503                              | 133.648                          |                           |  |   |                                | 90                                 |
| <b>Otros Países</b>  | 68.272                               | 15.294                           |                           |  |   |                                | 10                                 |

Fuente: Elaborado por ODEPA, a Partir de Datos del COMTRADE (Base de Datos Comerciales de la ONU)

Tabla 4.3 – Exportaciones Mundiales de Nueces de Nogal Sin Cáscaras, Período (2004 – 06).

Importaciones Mundiales de Nueces de Nogal Sin Cáscaras, Período (2002 – 06).

| Importadores         | Valor Importado en 2006 (Miles US\$) | Cantidad Importada en 2006 (Ton) | Precio en 2006 (US\$/Ton) | Tasa Anual de Crecimiento en Valor 2002/06 (%) | Tasa Anual de Crecimiento en Cantidad 2002/06 (%) | Variación en Valor 2005/06 (%) | Participación en Total Mundial (%) |
|----------------------|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--|---|--------------------------------|------------------------------------|
| <b>Total Mundial</b> | 629.398                              | 120.109                          | 5.240                     | 23   | 10  | 27                             | 100                                |
| <b>Alemania</b>      | 75.960                               | 11.877                           | 6.396                     | 24   | 13  | 49                             | 12                                 |
| <b>Japón</b>         | 68.726                               | 10.895                           | 6.308                     | 10   | 2   | 31                             | 11                                 |
| <b>Corea</b>         | 37.787                               | 7.063                            | 5.350                     | 59   | 51  | 100                            | 6                                  |
| <b>Francia</b>       | 37.064                               | 7.768                            | 4.771                     | 20   | 5   | 24                             | 6                                  |
| <b>Reino Unido</b>   | 32.691                               | 5.598                            | 5.840                     | 30   | 17  | 50                             | 5                                  |
| <b>Turquía</b>       | 30.860                               | 8.921                            | 3.459                     | 42   | 16  | 26                             | 5                                  |
| <b>España</b>        | 28.812                               | 6.014                            | 4.791                     | 23   | 4   | -1                             | 5                                  |
| <b>Canadá</b>        | 28.778                               | 5.654                            | 5.090                     | 18   | 5   | 23                             | 5                                  |
| <b>Italia</b>        | 23.689                               | 3.326                            | 7.122                     | 36   | 18  | 15                             | 4                                  |
| <b>Grecia</b>        | 22.011                               | 3.921                            | 5.614                     | 10   | -7  | -2                             | 3                                  |
| <b>Subtotal</b>      | 386.378                              | 71.037                           |                           |  |   |                                | 62                                 |
| <b>Otros Países</b>  | 243.020                              | 49.072                           |                           |  |   |                                | 3                                  |

Fuente: Elaborado por ODEPA, a Partir de Datos del COMTRADE (Base de Datos Comerciales de la ONU)

Tabla 4.4 – Importaciones Mundiales de Nueces de Nogal Sin Cáscaras, Período (2004 – 06)

#### 4.4.2 Estimación Oferta de Nueces Sin Cáscaras

| <b>2007 – 2008 (TONELADAS)</b> |                      |                   |                     |                    |
|--------------------------------|----------------------|-------------------|---------------------|--------------------|
|                                | <b>Stock Inicial</b> | <b>Producción</b> | <b>Oferta Final</b> | <b>Stock Final</b> |
| <b>China</b>                   | 0                    | 192.000           | 192.000             | 0                  |
| <b>EEUU</b>                    | 15.300               | 118.000           | 133.300             | 13.860             |
| <b>Turquía</b>                 | 5.800                | 25.000            | 30.800              | 4.000              |
| <b>India</b>                   | 1.000                | 10.000            | 11.000              | 800                |
| <b>Chile</b>                   | <b>134</b>           | <b>9.000</b>      | <b>9.134</b>        | <b>120</b>         |
| <b>Italia</b>                  | 410                  | 4.600             | 5.010               | 320                |

Fuente: Estimación de la Industria Presentada en el XXVII Congreso de la INC, Mayo 2008.

Tabla 4.5 – Estimación de Oferta de NSC de los Principales Ofertantes – Fuente: INC (Período 2007 – 08).

| <b>2008 – 2009 (TONELADAS)</b> |                      |                   |                     |                    |
|--------------------------------|----------------------|-------------------|---------------------|--------------------|
|                                | <b>Stock Inicial</b> | <b>Producción</b> | <b>Oferta Final</b> | <b>Stock Final</b> |
| <b>China</b>                   | 0                    | 200.000           | 200.000             | 0                  |
| <b>EEUU</b>                    | 13.860               | 137.000           | 150.860             | 16.380             |
| <b>Turquía</b>                 | 4.000                | 28.000            | 32.000              | 4.000              |
| <b>India</b>                   | 800                  | 10.000            | 10.800              | 1.000              |
| <b>Francia</b>                 | 0                    | 12.000            | 12.000              | 0                  |
| <b>Chile</b>                   | 120                  | 11.000            | 11.120              | 300                |
| <b>Italia</b>                  | 320                  | 5.000             | 5.320               | 500                |

Fuente: Estimación de la Industria Presentada en el XXVII Congreso de la INC, Mayo 2008.

Tabla 4.6 – Estimación de Oferta de NSC de los Principales Ofertantes – Fuente: INC (Período 2008 – 09).

## **4.5 Mercado Nacional Nueces de Nogal Sin Cáscaras**

### **4.5.1 Producción**

Las plantaciones de nogales en Chile han experimentado incrementos muy significativos durante la última década: de cerca de 7.000 ha cultivadas con nogales en 1997, en 2007 se registraron 14.575 ha, lo que significa un crecimiento medio de 8% anual en el período 1997 - 2007. Se puede esperar que la producción continúe su crecimiento en los años venideros, habida cuenta de que cerca de un tercio de la superficie cultivada se encuentra en formación y que en el año 2006 / 07 se plantaron 2.323 ha, cerca de un 20% de la superficie total.

Con respecto a la distribución territorial, la Región Metropolitana es la principal productora de nueces de nogal y presenta los huertos de mayor tamaño medio. Su área plantada con nogales alcanza a 6.093 hectáreas, de las cuales casi el 70% se encuentran en producción. Al mismo tiempo, es la región que experimentó la mayor expansión en el año anterior al Censo (2006/07), superior al 12%. La siguen las regiones de Valparaíso, O'Higgins y Coquimbo, que poseen 20%, 18% y 11% del área total cultivada con nogales, respectivamente.

Entre ellas la Región de O'Higgins presentó una expansión sólo menor que la de la Región Metropolitana en el año anterior al Censo (2007), pero hay que destacar que la búsqueda de tierras aptas para la expansión del cultivo frente a las buenas perspectivas de mercados y precios van abriendo zonas hacia el sur, fundamentalmente hacia las regiones del Maule y el Bío Bío, donde la condición de mayor pluviometría obliga a un manejo sanitario más intensivo, para evitar la proliferación de enfermedades y plagas, lo cual eleva los costos de producción. No obstante, muchos productores aceptan esta desventaja, con tal de encontrar tierras que se adecúen a las condiciones que exige el cultivo a menores costos que en la región central, donde se va haciendo difícil encontrar campos libres que resulten

viables para implantar nucedales nuevos. Las regiones de la Araucanía y de Atacama, regiones marginales para este cultivo, cuentan con bajas superficies (51 y 10 hectáreas, respectivamente).

En relación a los rendimientos unitarios del nogal, se observan incrementos significativos a lo largo de la última década, desde la introducción al país de las variedades californianas modernas de alta densidad y rendimiento. Entre ellas destacan la variedad Serr (la más cultivada en el país), seguida de Chandler y Howard, las más utilizadas en Chile. Si bien los rendimientos medios bordean los 1.500 kilos por hectárea, los predios con las nuevas variedades obtienen rendimientos en un rango que oscila entre 4,5 y 6 toneladas por hectárea. Si el manejo del cultivo es óptimo, puede llegar a un rendimiento de 8.000 - 9.000 kg por hectárea. Los desafíos radican en buen manejo de poda, riego y fertilización, para el logro de rendimientos elevados, además de la implantación del cultivo en suelos y condiciones adecuados. La producción nacional en la temporada actual (2007/ 08) ha sido estimada por la industria en alrededor de 22.000 toneladas. Del total producido, cerca de 10% se destina a consumo interno y un 90% se exporta.

#### **4.5.2 Comercio Exterior**

El comercio exterior chileno de nueces de nogal viene mostrando buen dinamismo en las últimas tres temporadas, con una tendencia de alza sostenida, tanto en volumen como en valor en el período. En el año 2007 Chile exportó cerca de 7.000 toneladas de Nueces Sin Cáscara y 5.800 toneladas de nueces con cáscara. Hay una tendencia a aumentar la exportación de nueces partidas, la que ha experimentado un 74% de incremento entre 2005 y 2007. Los principales países de destino en el año 2007 fueron Brasil, Italia, España y Alemania, hacia donde se realizaron más del 60% de los envíos. Chile envió estos productos a 36 destinos en el año 2007. Incrementos porcentuales significativos han tenido las exportaciones a Holanda, Ecuador, Venezuela y Colombia. En términos absolutos destacan también

Brasil, Italia, España y Suiza. Las exportaciones de nueces con cáscara tuvieron un incremento de 14% en 2007 en relación con la cantidad exportada en 2006 y fueron 26% superiores a las de 2005. Sus principales mercados de destino en el año 2007 fueron Italia, Brasil, España y Turquía.

## 4.6 Análisis del Producto Nueces de Nogal Enteras Sin Cáscara, Frescas o Secas

En los últimos años se muestra que las exportaciones de nueces de sin cáscara (NSC) ha tenido en Chile un comportamiento ascendente, como se muestra en la **Tabla 4.7** y **Figura 4.1**. Esta tendencia que se muestra de manera evidente, tiene que ver con el auge que ha tenido la industria del rubro agrícola estos últimos años, consolidándose de manera particular la industria de frutos secos. Podemos encontrar el producto “Nueces de nogal enteras, sin cáscara, frescas o secas” en el mercado nacional e internacional, con información detallada en la base de datos de la Aduana y PROCHILE (de ítem aduanero 08023210).

- Exportaciones desde Chile de Nueces Sin Cáscara al Mundo (Base de Datos Aduana)

|                      | 2002      | 2003      | 2004      | 2005      | 2006      | 2007      | Ene - Jun 2008 |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|
| <b>Cantidad (KN)</b> | 2.400.947 | 3.295.371 | 3.224.420 | 4.056.958 | 5.750.026 | 7.056.571 | 1.151.127      |

**Tabla 4.7 – Exportaciones Anuales de Nueces Sin Cáscara (NSC) - Consultas por Ítem - País en (KN), Base de Datos Aduana.**



- Exportaciones desde Chile de Nueces Sin Cáscara al Mundo (Base de Datos Aduana)



Figura 4.1 – Exportaciones Anuales de NSC – Consultas por Ítem - País en (KN), Base de Datos Aduana

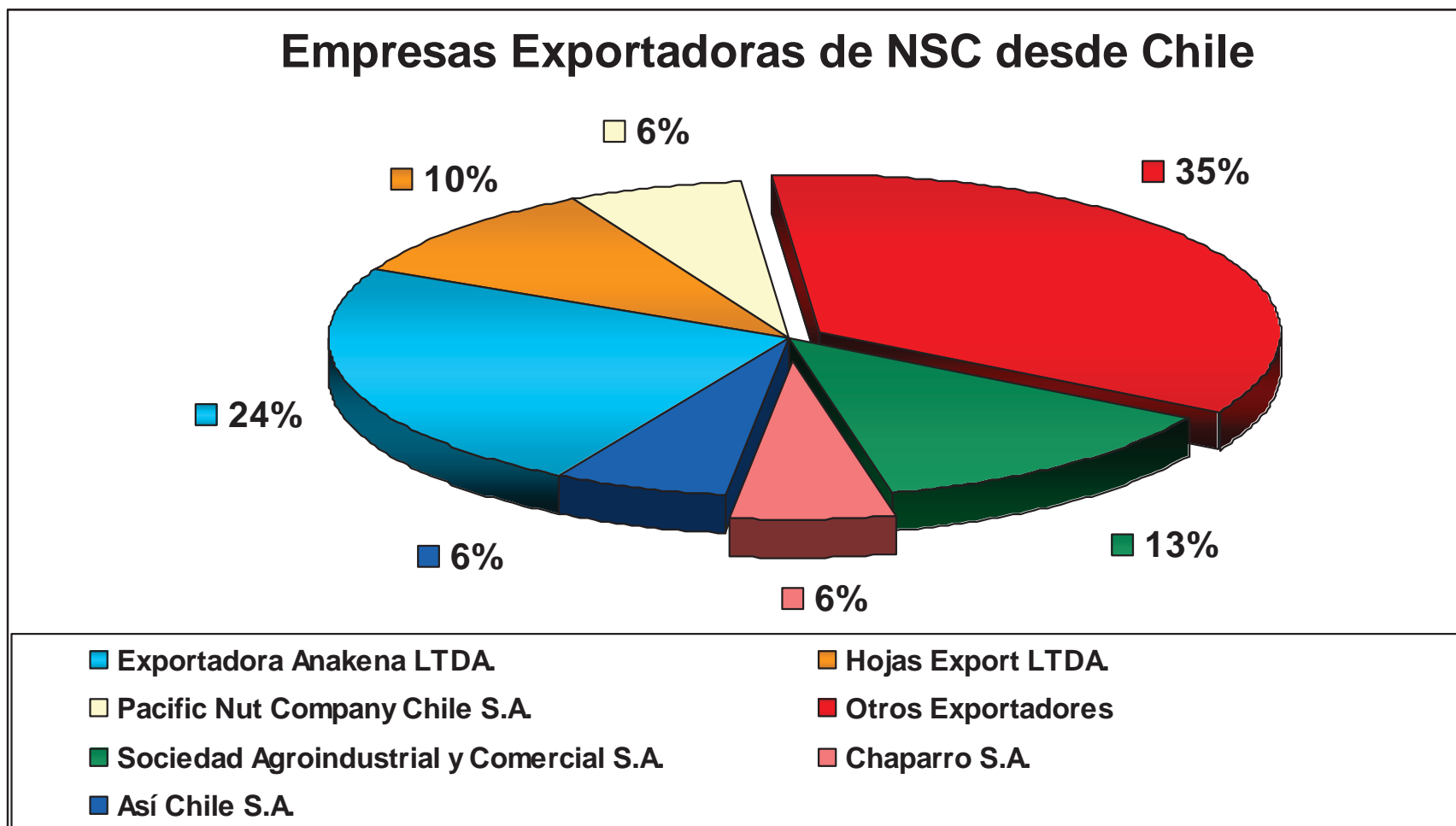
Las empresas chilenas que realizaron exportaciones el año 2007 de “NSC” se muestra en la **Tabla 4.8** y **Gráfica 4.2**:

- Empresas Exportadoras de Nueces de Nogal Sin Cáscaras a los Mercados Internacionales:

| <b>Empresa</b>                               |
|--|
| EXPORTADORA ANAKENA LTDA.                    |
| PACIFIC NUT COMPANY CHILE S.A.               |
| COMERCIAL YU LTDA.                           |
| COMERCIAL CORAGRO LTDA.                      |
| HOJAS EXPORT LTDA.                           |
| AGRO-INDUSTRIAL Y COMERCIAL SUPERFRUIT LTDA. |
| AGRO PRODEX INTERNACIONAL S.A.               |
| HORFRUT S.A.                                 |
| NAMA INTERNACIONAL S.A.                      |
| FRUTEXSA (FRUTAS DE EXPORTACIÓN S.A.)        |
| MIGUEL NENADOVICH DEL RÍO                    |
| CHILEFARMS S.A.                              |
| ASI (CHILE) S.A.                             |
| T Y T EXPORT S.A.                            |
| EXPORTACIONES Y ASESORÍAS ALNUEZ LTDA.       |
| ECOFRUT LTDA.                                |
| BONUS TERRA S.A.                             |
| ICB S.A.                                     |
| ATLAS EXPORTACIONES E IMPORTACIONES S.A.     |
| BELLAFRUT S.A.                               |

**Tabla 4.8 – Detalle Empresas Exportadoras de Nueces Sin Cáscara (NSC) al Mundo (Base de PROCHILE, Año 2007)**

- ☑ Empresas Exportadoras de Nueces de Nogal Sin Cáscaras a los Mercados Internacionales:



Gráfica 4.2 – Participación por Empresa en la Exportación de NSC, Año 2004 – (Fuente Consultora del Valle)

## 4.7 Análisis de Precios de Cáscaras de Nueces

### 4.7.1 Precio Materia Prima

Para el año 2009 la oferta de cáscaras de nueces en Chile alcanza alrededor de 11.000 toneladas, donde cerca del 70% se encuentra en manos de 5 productores, como se indica en la **Tabla 4.9**, lo que posibilita que la recolección de la materia prima, sea más fácil y expedita, concentrándose en los meses de mayo a septiembre, siendo estos 6 meses la época del año seleccionada para recolectar las nueces desde los proveedores.

| Empresa                               | Ton/Mes | US\$/Ton  |
|---------------------------------------|---------|-----------|
| EXPORTADORA ANAKENA LTDA.             | 200     | 38 + iva. |
| PACIFIC NUT COMPANY CHILE S.A.        | 200     | 39 + iva. |
| FRUTEXSA (FRUTAS DE EXPORTACIÓN S.A.) | 200     | 36 + iva. |
| AGROINDUS Y COMER SUPERFRUIT LTDA.    | 200     | 40 + iva. |
| ASI (CHILE) S.A.                      | 200     | 41 + iva. |

**Tabla 4.9 – Detalle Precio Cáscaras de Nueces Empresas Exportadoras de Nueces Sin Cáscara (NSC) (Base Proveedores, Año 2009)**

### 4.7.2 Información Empresas Proveedoras

La cercanía de las empresas proveedoras entrega la confianza desde el punto de vista logístico que se mantendrá un flujo constante de Cáscaras de Nueces en planta. A continuación se detallan las direcciones de los proveedores nacionales.

**1.- Empresa:** EXPORTADORA ANAKENA LTDA.

Teléfono Empresa: (+56) (2) – 8243385

Sitio Web: <http://www.anakena.cl/>

Ubicación: Calle Seis Oriente S/N , Parcela 164. – Paine.

**2.- Empresa:** PACIFIC NUT COMPANY CHILE S.A.

Teléfono Empresa: (+56) (2) – 5898000

Sitio Web: <http://www.pacificnut.com/>

Ubicación: Camino Nos a Los Morros 1201. – San Bernardo.

**3.- Empresa:** AGROINDUSTRIAL Y COMERCIAL SUPERFRUIT LTDA.

Teléfono Empresa: (+56) (72) – 207552

Sitio Web: <http://www.superfruit.cl/>

Ubicación: Camino La Estrella N° 407 of. 37 Sector Punta de Cortés – Rancagua.

**4.- Empresa:** ASI (CHILE) S.A.

Teléfono Empresa: (+56) (34) – 488515

Sitio Web: <http://www.asichile.cl/>

Ubicación: Los Olmos S/N Sector San Esteban. – Los Andes.

**5.- Empresa:** FRUTEXSA (FRUTAS DE EXPORTACIÓN S.A.)

Teléfono Empresa: (+56) (2) – 2338172

Sitio Web: <http://www.frutexsa.cl/>

Ubicación: Hernando de Aguirre 61 E – Santiago.

## **4.8 Resumen Capítulo IV**

En el presente capítulo se obtuvo la estimación de la materia prima necesaria para el proceso (cáscaras de nueces), su ubicación y disponibilidad productiva, identificando los lugares y empresas asociadas a la producción de frutos secos, y se estimó de manera cuantitativa la oferta de cáscaras de nueces en el mercado nacional, encontrando datos acerca de su comercialización por empresa y costos asociados. En el siguiente capítulo V, se desarrollará el estudio comercial del Carbón Activado de Cáscaras de Nueces. Se determinará de manera general las oportunidades del negocio en la extracción de oro en minería, entregando antecedentes de los consumos promedio anuales de carbón activo por rubro de manera local como internacional y de sus cualidades aportadas por industria. Encontrando finalmente valores reales de sus precios en el mercado, tanto en el sector industrial y al detalle.

## **4.9 Bibliografía**

1. Osvaldo Sánchez. 2004. **Estudio de Mercado del Nogal Serr Fruto Nuez.** Chile.
2. María Victoria Reyes. 2006. **Situación y perspectivas de los cultivos de nogal y almendro en Chile.** Chile.
3. ChileNut. 2006. **Tendencia Mundial de Producción y Consumo de Nueces de Nogal,** Chile.
4. ChileNut. 2008. **Estadística Mercado Nueces de Nogal Chilena. Información Aduanera, Actualizada a Junio 2008,** Chile.

## ***CAPÍTULO V***

### ***- Estudio Económico del Carbón Activado -***



## 5.1 Alcances del Estudio

En este capítulo se realizó un estudio de mercado nacional e internacional para el producto “Carbón Activo”. Para ello se compilo información de las siguientes fuentes:

- ☑ Departamento de Informática del Servicio Nacional de Aduanas, Registros Aduaneros de Importaciones y Exportaciones Chilenas, Valparaíso.
- ☑ Base de Datos del Instituto Forestal INFO CORFO de Importaciones y Exportaciones Chilenas, Santiago.
- ☑ Biblioteca Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Ingeniería.
- ☑ Base de Datos Centro Internacional de Comercio (ITC) ([www.trademap.org](http://www.trademap.org))

La información presentada abarca el período comprendido entre Enero de del 2002 a Diciembre del 2008, acerca de exportaciones e importaciones de Carbón Activo. Las limitaciones presentadas en esta sección se refieren a los periodos de tiempo estudiados, un rango de seis años es considerado representativo del comportamiento de este producto en nuestro país y en el mundo.

En la Base de Datos de la Aduana e Instituto Forestal los códigos que se refieren a Carbón Activo no diferencian según la aplicación o materia prima del cual provengan, todos están encasillados en el mismo código, pero en la descripción de estos se hace referencia a su aplicación, formato, etc...., lo cual resulta relevante para este análisis. Bajo el código 38021000 se encuentra el Carbón Activado en las Bases de la Aduana.

### 5.1.1 ¿Oportunidad de Negocio?

El nivel de importaciones de Carbón Activado en el mundo, según datos estadísticos, alcanzó aproximadamente los US\$595 millones el año 2005, con una tasa de crecimiento de 8% anual en volumen. Esta alza se debe a que los procedimientos de producción limpia son cada día más demandados por las empresas, quienes han mostrado un aumento en su interés por reducir sus niveles de contaminación; para esto, el Carbón Activado representa un producto que puede ayudar enormemente a las empresas dado su alto grado de adsorción de impurezas. En Chile, alrededor del 67% del Carbón Activado que se consume es de origen importado, el 33% restante corresponde a producción nacional, donde solo existe una empresa: Petrochil S.A. Existe la oportunidad de aumentar la producción nacional y comercializar en Chile este producto a precios competitivos. Por otro lado existe materia prima disponible suficiente y a bajo costo que permitiría cumplir con las proyecciones de producción del proyecto, y que, de acuerdo a experimentos realizados en laboratorio, permitiría obtener un producto de alta calidad aplicable a un importante número de industrias y procesos, abarcando un amplio rango de mercado.

Por otra parte, hay países vecinos o cercanos a Chile que son grandes productores de oro, industria que consume Carbón Activado en su proceso de extracción en yacimientos de baja ley. Viendo los niveles de importación de países latinoamericanos, se observa que existe un importante mercado potencial a quien ofrecerle este producto, teniendo en cuenta que para llegar a estos mercados se debe ofrecer un precio competitivo.

### 5.1.2 Propiedades de los Carbones Activados

En la **Tabla 5.1** se observan las características que se pueden obtener a partir de las materias primas más utilizadas en el mercado, índices que se pueden

obtener mediante un adecuado del control de las variables que influyen en el proceso tales como temperatura, tiempo de residencia y agente oxidante utilizado.

Propiedades de Algunos CA, obtenidos de distintas materia primas:

| <b>Propiedades Materia Prima Utilizada</b> | <b>Cáscaras de Coco y Cuescos de Carozos</b> | <b>Carbón Vegetal</b> | <b>Lignito</b> | <b>Madera en Polvo</b> |
|--|--|-----------------------|----------------|------------------------|
| Microporo                                  | Alto   | Alto                  | Medio          | Bajo                   |
| Macroporo                                  | Bajo   | Medio                 | Alto           | Alto                   |
| Dureza                                     | Alto   | Alto                  | Bajo           | No Aplicable           |
| Ceniza                                     | 5%   | 10%                   | 20%            | 5%                     |
| Ceniza Soluble en Agua                     | Alto   | Bajo                  | Alto           | Medio                  |
| Polvo                                      | Bajo   | Medio                 | Alto           | No Aplicable           |
| Reactivación                               | Buena  | Buena                 | Pobre          | No                     |
| Densidad Aparente                          | 0.48 (g/cc)                                  | 0.48 (g/cc)           | 0.4 (g/cc)     | 0.35 (g/cc)            |
| Nº de Yodo                                 | 1.200  | 1.000                 | 300            | 500                    |

**Tabla 5.1 – Fuente: Carbochem, Ardmore, USA.**

Se observa que el Carbón Activado fabricado a partir de cuescos de frutas (en general carozos como durazno y damascos) o cáscaras de frutas (coco, maní y nuez) se pueden obtener carbones de mejor calidad, con un alto nivel de microporos (responsable del 90% de la adsorción), alto grado de dureza (lo que le da mayor durabilidad y hace posible que el carbón pueda ser reutilizado), bajo grado de cenizas (a mayor % de cenizas más afectada negativamente se ve la calidad del carbón), y un alto número de yodo (medida de adsorción de los carbones) lo cual le da al carbón la posibilidad de ser utilizado en una mayor cantidad de aplicaciones.

## 5.2 Competencia e Industria Internacional

### 5.2.1 Mercado Internacional

El Carbón Activado importado a Chile proviene de diferentes países. Cada uno posee diferentes métodos de fabricación, diferentes tecnologías y diferentes materias primas, además de diferentes calidades (para diferentes usos), lo que hace la diferencia en los precios promedios de los carbones activados que ingresan al país. La siguiente tabla muestra los niveles de importación, desglosados por país de origen, para el año 2007 y 2006. Estos datos fueron obtenidos desde el sitio web de la Aduana Chilena y se muestran en las siguientes **Tablas 5.2 y 5.3**.

Principales Orígenes del Carbón Importado por Chile en el 2007 y 2006.

| Año 2007       |                        |               |                           |
|----------------|------------------------|---------------|---------------------------|
| País           | Valor Importado (US\$) | Cantidad (KN) | Valor Unitario (US\$/Ton) |
| SUDAFRICA      | 80.154                 | 40.000        | 2.004                     |
| EGIPTO         | 80                     | 6             | 13.333                    |
| MEXICO         | 380.309                | 285.215       | 1.333                     |
| PERU           | 11.722                 | 6.804         | 1.723                     |
| BRASIL         | 219.659                | 352.538       | 623                       |
| ARGENTINA      | 961                    | 240           | 4.004                     |
| ESTADOS UNIDOS | 539.128                | 216.259       | 2.493                     |
| CANADA         | 12.627                 | 1.472         | 8.578                     |
| SRI LANKA      | 135.168                | 63.062        | 2.143                     |
| INDIA          | 33.055                 | 20.000        | 1.653                     |

Tabla 5.2 – Fuente: Base de Datos Aduana Chilena – (\*) Valor de Relación Entre Totales.

|              |                  |                  |                  |
|--------------|------------------|------------------|------------------|
| INDONESIA    | 38.632           | 20.000           | 1.932            |
| JAPON        | 337              | 2                | 168.500          |
| FILIPINAS    | 118.597          | 60.820           | 1.950            |
| CHINA        | 52.116           | 35.934           | 1.450            |
| ITALIA       | 6.209            | 500              | 12.418           |
| FRANCIA      | 233.096          | 60.940           | 3.825            |
| INGLATERRA   | 302.731          | 123.609          | 2.449            |
| HOLANDA      | 197.404          | 56.721           | 3.480            |
| ALEMANIA     | 18.515           | 499              | 37.104           |
| <b>TOTAL</b> | <b>2.380.500</b> | <b>1.344.621</b> | <b>1.770 (*)</b> |

Tabla 5.2 (conti.) – Fuente: Base de Datos Aduana Chilena – (\*) Valor de Relación Entre Totales.

| <b>Año 2006</b> |                               |                      |                                  |
|-----------------|-------------------------------|----------------------|----------------------------------|
| <b>País</b>     | <b>Valor Importado (US\$)</b> | <b>Cantidad (KN)</b> | <b>Valor Unitario (US\$/Ton)</b> |
| COLOMBIA        | 30.975                        | 10.000               | 3.098                            |
| MEXICO          | 573.301                       | 466.274              | 1.230                            |
| PERU            | 2.878                         | 910                  | 3.163                            |
| BRASIL          | 231.231                       | 383.803              | 602                              |
| ARGENTINA       | 204                           | 450                  | 453                              |
| ESTADOS UNIDOS  | 490.637                       | 218.970              | 2.241                            |
| CANADA          | 1.075                         | 60                   | 17.917                           |
| SRI LANKA       | 124.151                       | 64.020               | 1.939                            |
| JAPON           | 23.310                        | 12.600               | 1.850                            |
| FILIPINAS       | 62.008                        | 32.600               | 1.902                            |
| CHINA           | 56.532                        | 43.429               | 1.302                            |
| ITALIA          | 18.417                        | 4.227                | 4.357                            |
| FRANCIA         | 2.452                         | 420                  | 5.838                            |
| INGLATERRA      | 99.205                        | 39.102               | 2.537                            |
| HOLANDA         | 192.693                       | 55.533               | 3.470                            |
| ESPAÑA          | 487                           | 100                  | 4.870                            |
| ALEMANIA        | 17.281                        | 576                  | 30.002                           |
| <b>TOTAL</b>    | <b>1.926.837</b>              | <b>1.333.074</b>     | <b>1.445 (*)</b>                 |

Tabla 5.3 – Fuente: Base de Datos Aduana Chilena – (\*) Valor de Relación Entre Totales.

No existen datos de importaciones que desglose según calidades y tipos de Carbón Activado. Los datos disponibles consideran todos los tipos de carbones activados sin diferenciar su calidad, por lo que no es posible establecer en base a estos estudios diferencias entre precios y calidades.

En Chile el mercado del Carbón Activado está poco desarrollado, dado los niveles de importaciones y exportaciones mostrados, a lo que se agrega el poco conocimiento acerca de los usos y beneficios de este producto y sus procesos en nuestro país.

Es por esto que existe la oportunidad de dar a conocer este producto y buscar mercados dentro de Latinoamérica, incluido Chile, especialmente países donde la minería aurífera representa una actividad importante, a quienes podría interesarles el producto ofreciéndoles precios competitivos. El bajo costo de la materia prima permitiría comercializar este producto a precios competitivos, lo que representaría una oportunidad para entrar a diversos mercados.

A nivel latinoamericano existen algunas plantas productoras de Carbón Activado, siendo México el principal productor de la región donde las principales empresas son Clarimex (con plantas en México y Brasil), Carbonapelsa, y Carbotecnia. Por otra parte desde 1997 Ecuador posee una planta perteneciente a la compañía Ekokarbones, cuya capacidad es de 800 toneladas anuales, la cual actualmente produce principalmente carbones activados granulares utilizando como materia prima la cáscara de coco.

En Chile, desde 1993 Petrochil posee la única planta existente en el país, cuya capacidad es de 500 toneladas anuales. Durante el año 2006 la empresa argentina Cotagro, instaló una planta de Carbón Activado en Córdoba con una capacidad de 1.200 toneladas anuales, utilizando como materia prima la cáscara de maní.

## 5.2.2 Principales Productores y Exportadores de Carbón Activado

El mercado mundial del Carbón Activado alcanza los 500 millones de dólares, y los principales productores se encuentran en Europa, Norteamérica y Asia, utilizando diferentes tecnologías, materias primas y procesos para su fabricación, razón que podría explicar las diferencias en precios que se observan. La información ha sido obtenida de la base de datos del Centro Internacional de Comercio, ubicado en Suiza. Lamentablemente los datos para el año 2006 aún no se encuentran disponibles, y para algunos país incluso no es posible obtener datos del año 2005.

El único país latinoamericano dentro de los grandes productores y exportadores de Carbón Activado es México cuyos niveles de exportaciones para el año 2005 alcanzaron los 2 millones de dólares, lo que representa una cantidad cercana a las 2.500 toneladas. China es el principal exportador mundial de Carbón Activado, alcanzando el 2005 la cantidad de 218 mil toneladas, lo que representa casi el 50% del total mundial, hecho que podría explicarse dado el bajo costo de este producto proveniente de China. Los principales exportadores de Carbón Activado en el mundo se muestran en las **Tablas 5.4 y 5.5**:

- Principales Exportadores de Carbón Activado a Nivel Mundial Año 2005 y 2004 (Valores CIF).

| <b>Año 2005</b>            |                              |                             |                                       |
|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| <b>Países Exportadores</b> | <b>Valor (Miles de US\$)</b> | <b>Cantidad (Toneladas)</b> | <b>Valor Unitario (Miles de US\$)</b> |
| <b>Mundial</b>             | <b>480.801</b>               | <b>425.307</b>              | <b>3.292 (*)</b>                      |
| China                      | 129.338                      | 218.355                     | 592                                   |
| EEUU                       | 94.074                       | 49.394                      | 1.905                                 |
| Japón                      | 59.792                       | 10.295                      | 5.808                                 |
| Filipinas                  | 44.544                       | 33.843                      | 1.316                                 |
| Reino Unido                | 36.647                       | 17.035                      | 2.151                                 |
| Francia                    | 32.282                       | 28.722                      | 1.124                                 |
| Alemania                   | 28.880                       | 14.282                      | 2.022                                 |
| Indonesia                  | 16.303                       | 25.671                      | 635                                   |
| Italia                     | 9.426                        | 6.485                       | 1.454                                 |
| Austria                    | 4.428                        | 2.329                       | 1.901                                 |
| Canadá                     | 3.536                        | 713                         | 4.959                                 |
| México                     | 2.874                        | 2.466                       | 1.165                                 |
| Suecia                     | 2.757                        | 2.275                       | 1.212                                 |
| Australia                  | 2.472                        | 7.003                       | 353                                   |
| Grecia                     | 2.394                        | 415                         | 5.769                                 |
| Hong Kong                  | 2.197                        | 2.539                       | 865                                   |
| Sud Africa                 | 2.022                        | 992                         | 2.038                                 |
| Fed. Rusa                  | 1.925                        | 1.007                       | 1.912                                 |
| Suiza                      | 1.285                        | 490                         | 2.622                                 |
| Singapur                   | 1.282                        | 524                         | 2.447                                 |
| Corea del Sur              | 1.147                        | 135                         | 8.498                                 |
| Dinamarca                  | 912                          | 48                          | 19.000                                |
| Finlandia                  | 167                          | 29                          | 5.759                                 |
| Croacia                    | 72                           | 252                         | 288                                   |
| Irlanda                    | 39                           | 5                           | 7.800                                 |
| Nva. Zelanda               | 6                            | 3                           | 2.000                                 |

**Tabla 5.4 – Fuente: Centro Internacional de Comercio (ITC) – (\*) Valor de Relación Promedio.**



| <b>Año 2004</b>            |                              |                             |                                       |
|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| <b>Países Exportadores</b> | <b>Valor (Miles de US\$)</b> | <b>Cantidad (Toneladas)</b> | <b>Valor Unitario (Miles de US\$)</b> |
| <b>Mundial</b>             | <b>500.077</b>               | <b>238.528</b>              | <b>2.577</b>                          |
| China                      | 117.895                      | -                           | -                                     |
| EEUU                       | 60.609                       | 46.797                      | 1.295                                 |
| Japón                      | 63.692                       | 10.474                      | 6.081                                 |
| Filipinas                  | 41.454                       | 32.710                      | 1.267                                 |
| Reino Unido                | 32.549                       | 14.174                      | 2.296                                 |
| Francia                    | 28.255                       | 21.310                      | 1.326                                 |
| Alemania                   | 31.120                       | 13.535                      | 2.299                                 |
| Indonesia                  | 12.387                       | 16.075                      | 771                                   |
| Italia                     | 7.587                        | 5.114                       | 1.484                                 |
| Austria                    | 4.352                        | 2.303                       | 1.890                                 |
| Canadá                     | 2.925                        | 541                         | 5.407                                 |
| México                     | 3.530                        | 5.760                       | 613                                   |
| Suecia                     | 2.588                        | 2.281                       | 1.135                                 |
| Australia                  | 2.742                        | 4.389                       | 625                                   |
| Grecia                     | 3.068                        | 496                         | 6.185                                 |
| Hong Kong                  | 2.107                        | 2.399                       | 878                                   |
| Sud Africa                 | 1.224                        | 657                         | 1.863                                 |
| Fed. Rusa                  | 1.633                        | 869                         | 1.879                                 |
| Suiza                      | 979                          | 294                         | 3.330                                 |
| Singapur                   | 490                          | 308                         | 1.591                                 |
| Corea del Sur              | 1.643                        | 566                         | 2.903                                 |
| Dinamarca                  | 956                          | 80                          | 11.950                                |
| Finlandia                  | 187                          | 23                          | 8.130                                 |
| Nva. Zelanda               | 4                            | 1                           | 4.000                                 |
| Estonia                    | 48                           | 15                          | 3.200                                 |
| Luxemburgo                 | 48                           | 12                          | 4.000                                 |
| Holanda                    | 24.487                       | 10.134                      | 2.416                                 |
| Sri Lanka                  | 17.020                       | 16.578                      | 1.027                                 |
| Malasia                    | 12.644                       | 15.870                      | 797                                   |
| India                      | 8.148                        | 9.689                       | 841                                   |
| Brasil                     | 1.843                        | 2.850                       | 647                                   |
| Taiwán                     | 1.594                        | 746                         | 2.137                                 |

**Tabla 5.5 – Fuente: Centro Internacional de Comercio (ITC) – (\*) Valor de Relación Promedio.**

China, Estados Unidos y Japón representan a los principales exportadores mundiales de Carbón Activado. En la tabla se muestra el valor de las exportaciones en miles de US\$, la cantidad exportada en toneladas y el precio promedio por tonelada, todos los datos para el año 2004 y 2005. China es el principal exportador de Carbón Activado, seguido por Estados Unidos, quienes en conjunto suman una cantidad de 267.000 toneladas exportadas, lo que representa más de la mitad de las exportaciones de Carbón Activado a nivel mundial. China posee el 51% de las exportaciones a nivel mundial (medido en toneladas) sin embargo sus ingresos en miles de US\$ representan solo al 27%. No así Estados Unidos quien posee el 12% del volumen del mercado en toneladas y el 20% de ingresos. Los datos anteriores corresponden a las exportaciones de Carbón Activado en todas sus variedades, sin importar la calidad y especificación del producto. Las entidades encargadas de registrar estadísticas de comercio estiman las exportaciones e importaciones de Carbón Activado para todo tipo de usos y de todo tipo de material como un conjunto, por lo que no existen datos oficiales disponibles desglosados según calidad del producto.

La diferencia de precios que se observa en las **Tablas 5.4 y 5.5**, se debe principalmente a las diferentes calidades del Carbón Activado. Estas diferencias de calidad están determinadas por los métodos de fabricación que se utilicen y por las calidades obtenidas a partir de los diferentes procesos de fabricación y materias primas. Por ejemplo, en países asiáticos utilizan métodos más rudimentarios para fabricar Carbón Activado, existen muchos campesinos que producen carbón en tambores diseñados por ellos mismos, además de existir fábricas de Carbón Activado. En cambio en Norteamérica y en los países europeos poseen grandes empresas dedicadas exclusivamente a la producción de Carbón Activado, utilizando mejores tecnologías y mayores recursos en la investigación y desarrollo de mejoras en calidades y métodos de fabricación de Carbón Activado. Entre las empresas más importantes se encuentran CPL Carbon Link Group en Alemania y Reino Unido; Calgon Carbons Corporations en EEUU; Chemviron Carbon en Bélgica, Francia, Reino Unido y Alemania; Activated Corp en EEUU; entre otras (Fuente: Sitios Web de las empresas mencionadas).

### 5.2.3 Principales Consumidores de Carbón Activado

El Carbón Activado posee diversas aplicaciones, lo cual permite tener una amplia gama de potenciales clientes. Además el interés de las industrias por reducir sus índices de contaminación ha incentivado a buscar alternativas dentro de las cuales se encuentra la aplicación de métodos que utilizan Carbón Activado.

De acuerdo a publicaciones y bibliografía, el Carbón Activado fabricado a partir de huescos de durazno puede ser utilizado en la purificación de líquidos y en la minería, no descartando otras aplicaciones ya mencionadas, teniendo características similares al Carbón Activado fabricado a partir de cáscaras de coco y nuez.

En Latinoamérica existe una gran cantidad de mineras, de oro y plata, quienes representan potenciales clientes. El mercado objetivo del proyecto apunta principalmente a Latinoamérica, dado que por el bajo costo de las materias primas se podrían ofrecer precios competitivos y menores costos de transporte. Además, países con una importante participación en la minería aurífera como Perú, Chile y Brasil representan potenciales clientes, dado que, como este tipo de Carbón Activado puede ser aplicado en algunos métodos utilizados en el proceso de extracción de oro en yacimiento de baja ley.

Perú es el principal productor de oro en Latinoamérica y el octavo más importante a nivel mundial. Además, el hecho que Chile y Perú sean países vecinos representa una oportunidad de crear una ventaja con respecto a otros países basada en menores costos de transportes. A continuación se muestra en las **Tablas 5.6 y 5.7**, los datos obtenidos de las importaciones de países de Latinoamérica, utilizando como fuente el Centro Internacional de Comercio.

- Principales Importadores Latinoamericanos de Carbón Activado Año 2005 y 2004 (Valores FOB).

| <b>Año 2005</b>            |                              |                             |                                       |
|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| <b>Países Importadores</b> | <b>Valor (Miles de US\$)</b> | <b>Cantidad (Toneladas)</b> | <b>Valor Unitario (Miles de US\$)</b> |
| México                     | 12.278                       | 5.142                       | 2.388                                 |
| Brasil                     | 7.891                        | 4.432                       | 1.780                                 |
| Argentina                  | 6.069                        | 3.457                       | 1.756                                 |
| Venezuela                  | 3.872                        | 2.470                       | 1.568                                 |
| Chile                      | 2.162                        | 1.272                       | 1.700                                 |
| Perú                       | 1.838                        | 1.153                       | 1.594                                 |
| Colombia                   | 1.178                        | 899                         | 1.310                                 |
| Ecuador                    | 841                          | 509                         | 1.652                                 |
| Costa Rica                 | 531                          | 347                         | 1.530                                 |
| Bolivia                    | 450                          | 286                         | 1.573                                 |
| Uruguay                    | 236                          | 205                         | 1.151                                 |
| Panamá                     | 162                          | 68                          | 2.382                                 |
| Paraguay                   | 95                           | 57                          | 1.667                                 |
| <b>Total</b>               | <b>37.603</b>                | <b>20.297</b>               | <b>1.853 (*)</b>                      |

**Tabla 5.6 – Fuente: Centro Internacional de Comercio (ITC) – (\*) Valor de Relación Entre Totales.**

| <b>Año 2004</b>            |                              |                             |                                       |
|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| <b>Países Importadores</b> | <b>Valor (Miles de US\$)</b> | <b>Cantidad (Toneladas)</b> | <b>Valor Unitario (Miles de US\$)</b> |
| México                     | 11.933                       | 4.973                       | 2.400                                 |
| Brasil                     | 6.731                        | 3.178                       | 2.118                                 |
| Argentina                  | 4.593                        | 2.531                       | 1.815                                 |
| Venezuela                  | 3.289                        | 2.215                       | 1.485                                 |
| Chile                      | 1.902                        | 1.403                       | 1.356                                 |
| Perú                       | 1.629                        | 1.046                       | 1.557                                 |
| Colombia                   | 1.201                        | 935                         | 1.284                                 |
| Ecuador                    | 615                          | 393                         | 1.565                                 |

**Tabla 5.7 – Fuente: Centro Internacional de Comercio (ITC) – (\*) Valor de Relación Entre Totales.**

|              |               |               |                 |
|--------------|---------------|---------------|-----------------|
| Costa Rica   | 540           | 558           | 968             |
| Bolivia      | 251           | 210           | 1.195           |
| Uruguay      | 193           | 152           | 1.270           |
| Panamá       | 186           | 114           | 1.632           |
| Paraguay     | 106           | 76            | 1.395           |
| <b>Total</b> | <b>33.169</b> | <b>17.784</b> | <b>1.541(*)</b> |

**Tabla 5.7 (conti.) – Fuente: Centro Internacional de Comercio (ITC) – (\*) Valor de Relación Entre Totales.**

Se observa que entre el año 2004 y 2005 hubo un crecimiento de 14,13% en las importaciones de Carbón Activado. Se muestra en las **Tablas 5.6 y 5.7**, los detalles para los principales países latinoamericanos importadores de Carbón Activado: México, Perú, Chile, Brasil y Argentina, donde se detalla la procedencia del Carbón Activado importado por cada uno de los países señalados. De esta forma es posible tener una idea de qué tipo de Carbón Activado consume cada uno de ellos y a qué precios adquieren este producto. Centrándose en los principales países de la región - esto es, México, Argentina, Brasil, Perú, Venezuela y Chile - se puede observar que las importaciones de estos 6 países alcanzaron las 17.900 toneladas, representando cerca de un 88% del total de importaciones de la región para el año 2005. Para el año 2004 estos 6 países importaron un total de 15.340 toneladas, representando cerca de un 86% del total de importaciones de Latinoamérica. No existen datos disponibles para el año 2006, pero se estima que el nivel de importaciones para Latinoamérica llegó a las 22.000 toneladas, presentando un crecimiento cercano a un 8,3% con respecto al año 2005.

#### **5.2.4 Principales Importadores de Carbón Activado**

En las **Tablas 5.8 y 5.9**, se muestra el valor de las importaciones en miles de US\$ CIF, la cantidad importada por cada país en toneladas y el precio por tonelada promedio registrado por cada país.

Principales Importadores de Carbón Activado a Nivel Mundial Año 2005  
(Valores CIF).

| <b>Año 2005</b>            |                              |                             |                                       |
|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| <b>Países Importadores</b> | <b>Valor (Miles de US\$)</b> | <b>Cantidad (Toneladas)</b> | <b>Valor Unitario (Miles de US\$)</b> |
| <b>Mundial</b>             | <b>528.289</b>               | <b>410.738</b>              | <b>1.286 (*)</b>                      |
| Japón                      | 82.776                       | 82.177                      | 1.007                                 |
| EEUU                       | 78.623                       | 78.683                      | 999                                   |
| Alemania                   | 57.076                       | 35.372                      | 1.614                                 |
| Bélgica                    | 41.246                       | 32.653                      | 1.263                                 |
| Francia                    | 38.672                       | 28.772                      | 1.344                                 |
| Corea del Sur              | 38.569                       | 31.094                      | 1.240                                 |
| Italia                     | 36.250                       | 28.794                      | 1.259                                 |
| Reino Unido                | 30.883                       | 22.823                      | 1.353                                 |
| Canadá                     | 20.043                       | 11.854                      | 1.691                                 |
| China                      | 18.714                       | 6.355                       | 2.945                                 |
| México                     | 12.278                       | 5.142                       | 2.388                                 |
| Australia                  | 10.728                       | 7.883                       | 1.361                                 |
| Suiza                      | 10.098                       | 3.831                       | 2.636                                 |
| Fed. Rusa                  | 9.379                        | 5.579                       | 1.681                                 |
| Sud Africa                 | 8.411                        | 7.501                       | 1.121                                 |
| Suecia                     | 5.868                        | 4.527                       | 1.296                                 |
| Finlandia                  | 4.737                        | 1.922                       | 2.465                                 |
| Austria                    | 4.266                        | 2.576                       | 1.656                                 |
| Hong Kong                  | 3.683                        | 3.685                       | 999                                   |
| Dinamarca                  | 3.645                        | 1.457                       | 2.502                                 |
| Indonesia                  | 2.481                        | 1.910                       | 1.299                                 |
| Singapur                   | 2.425                        | 1.323                       | 1.833                                 |
| Nva. Zelanda               | 1.696                        | 1.354                       | 1.253                                 |
| Irlanda                    | 1.598                        | 461                         | 3.466                                 |
| Grecia                     | 1.574                        | 1.131                       | 1.392                                 |
| Kyrgystan                  | 871                          | 336                         | 2.592                                 |
| Senegal                    | 577                          | 300                         | 1.923                                 |
| Jordania                   | 365                          | 788                         | 463                                   |

**Tabla 5.8 – Fuente: Centro Internacional de Comercio (ITC) – (\*) Valor de Relación Entre Totales.**

Principales Importadores de Carbón Activado a Nivel Mundial Año 2005  
(Valores CIF).

| <b>Año 2004</b>            |                              |                             |                                       |
|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| <b>Países Importadores</b> | <b>Valor (Miles de US\$)</b> | <b>Cantidad (Toneladas)</b> | <b>Valor Unitario (Miles de US\$)</b> |
| <b>Mundial</b>             | <b>506.606</b>               | <b>423.783</b>              | <b>1.195 (*)</b>                      |
| Japón                      | 89.209                       | 89.372                      | 998                                   |
| EEUU                       | 75.500                       | 66.844                      | 1.129                                 |
| Alemania                   | 58.700                       | 28.205                      | 2.081                                 |
| Bélgica                    | 36.482                       | 27.358                      | 1.334                                 |
| Francia                    | 28.255                       | 21.310                      | 1.326                                 |
| Corea del Sur              | 38.924                       | 32.145                      | 1.211                                 |
| Italia                     | 32.587                       | 27.589                      | 1.181                                 |
| Reino Unido                | 25.915                       | 28.067                      | 923                                   |
| Canadá                     | 21.208                       | 9.496                       | 2.233                                 |
| China                      | 18.013                       | -                           | -                                     |
| México                     | 11.933                       | 49.736                      | 240                                   |
| Australia                  | 6.799                        | 5.528                       | 1.230                                 |
| Suiza                      | 11.768                       | 4.615                       | 2.550                                 |
| Fed. Rusa                  | 7.523                        | 4.419                       | 1.702                                 |
| Sud Africa                 | 8.716                        | 6.580                       | 1.325                                 |
| Suecia                     | 5.190                        | 5.215                       | 995                                   |
| Finlandia                  | 3.816                        | 1.814                       | 2.104                                 |
| Austria                    | 5.572                        | 3.478                       | 1.602                                 |
| Hong Kong                  | 3.913                        | 3.018                       | 1.297                                 |
| Dinamarca                  | 4.414                        | 1.905                       | 2.317                                 |
| Indonesia                  | 2.069                        | 1.528                       | 1.354                                 |
| Singapur                   | 2.629                        | 1.359                       | 1.935                                 |
| Nva. Zelanda               | 1.108                        | 808                         | 1.371                                 |
| Irlanda                    | 1.541                        | 429                         | 3.592                                 |
| Grecia                     | 1.992                        | 1.321                       | 1.508                                 |
| Kyrgystan                  | 1.292                        | 537                         | 2.406                                 |
| Jordania                   | 315                          | 711                         | 443                                   |

**Tabla 5.9 – Fuente: Centro Internacional de Comercio (ITC) – (\*) Valor de Relación Entre Totales.**

## **5.3 Competencia e Industria Nacional**

### **5.3.1 Mercado del Carbón Activo en Chile**

El mercado mundial del Carbón Activado alcanzó aproximadamente unos US\$595 millones para el año 2005, con una tasa de crecimiento en volumen de 8% anual durante el periodo 1999 – 2004. Esta tendencia a la alza se puede explicar en parte a que los procedimientos de producción limpia cada día están demandando más de este producto. En Chile alrededor del 67% del Carbón Activado que se consume en el país es importado, lo que representa un monto de importación de 2,4 millones de US\$ (CIF/año), y un volumen anual de 1.344 toneladas para el año 2007.

Se observa que las importaciones habían mostrado un ascenso entre los años 2001 y 2004, lo cual podría explicarse por el aumento de la demanda. Este aumento se podría explicar por que las empresas buscan nuevas alternativas para reducir sus emisiones debido a la normativa vigente desde el año 2000 la cual regula los efluentes de las industrias al alcantarillado y la emisión de líquidos en aguas superficiales. Vemos que para el 2005 se registra un quiebre en esta tendencia donde el monto de importaciones disminuyó a 1.272 toneladas. Los datos disponibles para el año 2006 muestran que la cantidad importada hasta para ese año fue de 1.333 toneladas, lo que significa un aumento cercano al 5% con respecto al 2005.

### **5.3.2 Productores de Carbón Activado**

En Chile actualmente existe una empresa que produce Carbón Activado. Esta es Petrochil S.A., esta planta inició sus operaciones el año 1993 y está ubicada en la sexta región y cuya capacidad instalada de producción es de 500 toneladas anuales. El Carbón Activado fabricado por Petrochil S.A. es producido utilizando



como materia prima cuescos de duraznos, cuyo proveedor es la empresa Agrozzi, la cual produce frutas en conservas y que al año procesa 60.000 toneladas de duraznos y damascos en temporada. Petrochil S.A. además es el único exportador de Carbón Activado y su producción anual es de 500 toneladas. Según la base de datos de la Aduana Chilena, el año 2005 registra exportaciones según se muestra en la **Tabla 5.10**.

| <b>Año</b>     | <b>Exportaciones (US\$ FOB)</b> | <b>País de Exportación</b>   |
|----------------|---------------------------------|------------------------------|
| 2005           | 2.981                           | Honduras                     |
| 2006           | 19.810                          | Venezuela y Argentina        |
| 2007           | 944                             | Territorio Británico América |
| Ene – Sep 2008 | 21.278                          | Argentina                    |

**Tabla 5.10 – Exportaciones de Carbón Activado (US\$ FOB) – Base de Datos Aduana Chilena.**

## **5.4 Análisis de la Demanda**

### **5.4.1 Características de los Demandantes**

Las aplicaciones más comunes de este producto se encuentran en los campos de Química, Minería, Farmacéutica, Industria Alimenticia, tratamiento de Agua, entre otros; por lo cual es necesario tener una visión general de la importancia de este en los procesos industriales a nivel Nacional e Internacional, teniendo en cuenta a su vez las funciones que en estos se cumple, en cuanto a sus diversas aplicaciones. La importación de Carbón Activado es considerablemente más relevante que la exportación de este producto, lo que demuestra la gran necesidad que existe en nuestro país por adquirirlo, para los procesos mencionados anteriormente.

### **5.4.2 Estimación de la Demanda**

Desde el año 2000, se muestra que el Carbón Activo ha tenido en Chile un comportamiento singular, que en el caso del año 2001 este se mostró una tendencia a la baja, producto de la crisis Asiática.

La exportación e importación se dificultó, pues, las alzas en las tasas afectaron de manera considerable la entrada de todos los productos desde el extranjero, por ello, se aprecia que durante esos años las transacciones Nacionales vivieron un momento de gran incertidumbre e inestabilidad. El año 2002 las importaciones de Carbón Activo se normalizaron y entre enero y septiembre del año 2008, las importaciones llegaron a 979.130 (KN), en comparación con 6.400 (KN) de exportaciones hacia Argentina, en el mismo período de tiempo anterior con un valor

de US\$ 21.278. Desde los años 2002 hasta el 2007 la importación de Carbón Activo promedio anual ha sido de US\$ 2.040.230 y de 1.336.949 (KN), valores (CIF), como muestra la **Tabla 5.11** y la **Figura 5.1**.

Importaciones hacia Chile de Carbón Activado (Base de Datos Aduana)

|                          | 2002      | 2003      | 2004      | 2005      | 2006      | 2007      | Ene- Sep<br>2008 |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|
| <b>Cantidad<br/>US\$</b> | 1.591.635 | 1.989.508 | 1.902.031 | 2.162.330 | 1.926.837 | 2.380.500 | 2.025.813        |
| <b>Cantidad<br/>(KN)</b> | 1.035.072 | 1.435.001 | 1.404.285 | 1.272.301 | 1.333.073 | 1.344.621 | 979.130          |

**Tabla 5.11 – Importaciones Anuales de Carbón Activado - Consultas por Ítem País en (KN) y US\$ (CIF) - (Base de Datos Aduana)**



Gráfico de Importaciones de Carbón Activado a Chile en US\$ (CIF) y (KN):

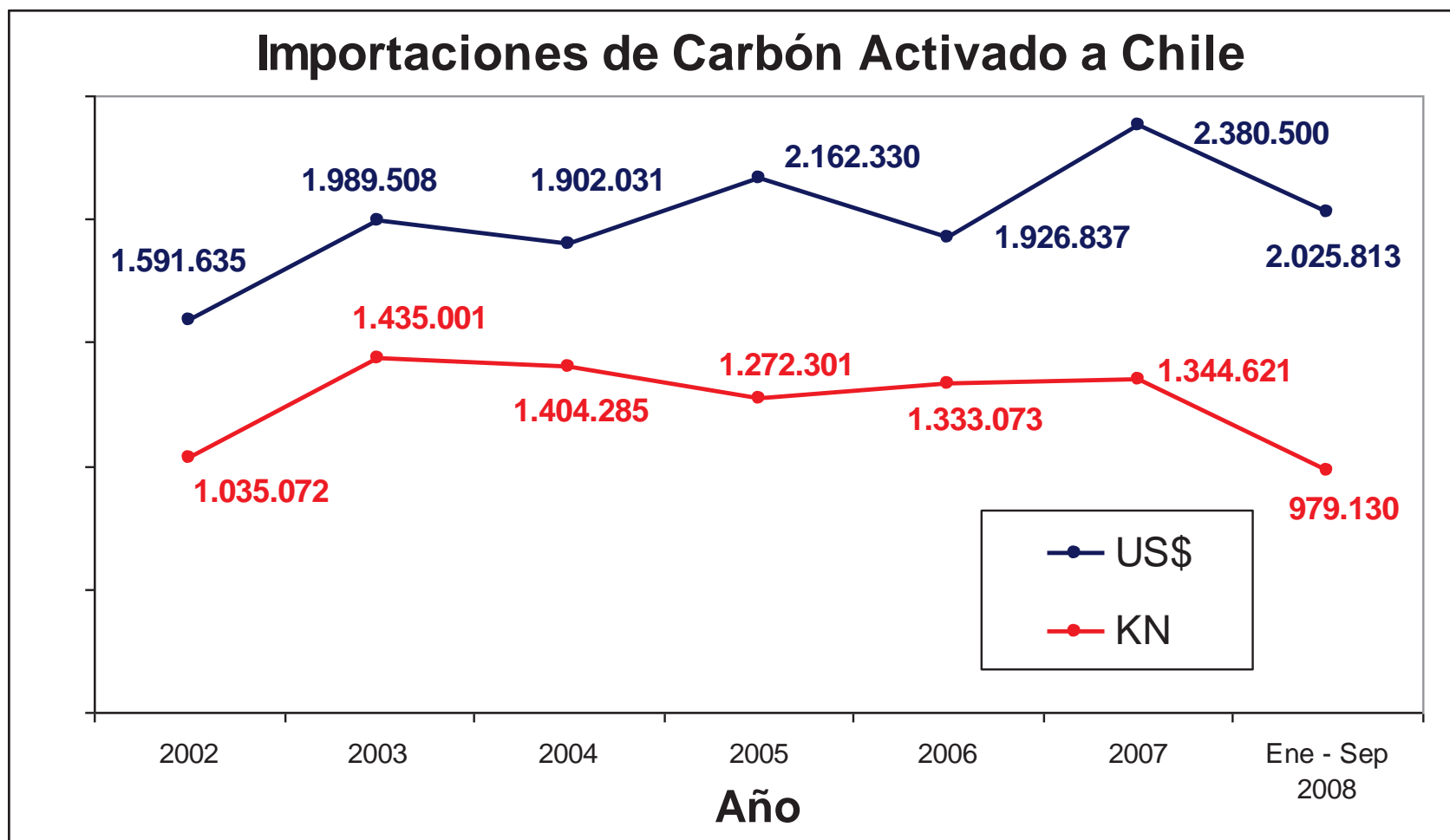


Figura 5.1 – Importaciones de Carbón Activo a Chile en US\$ (CIF) y (KN) – Ítem País - (Base de Datos Aduana)

Muchas de las empresas Chilenas demandantes de Carbón Activado, se pueden clasificar por su rubro, aplicación y formato, como se muestra en las **Tablas 5.12, 5.13 y 5.14** y las **Figuras 5.2 y 5.3**.

- Clasificación por Rubro de las Empresas más Importantes Importadoras de Carbón Activo a Chile

| <b>.Rubro</b>                 | <b>Empresa</b>                               |
|-------------------------------|--|
| Aislantes Térmicos            | Nikolaides S.A.                              |
|                               | Teka Ltda. Navarro y Cia.                    |
| Importadoras                  | Barcelona                                    |
|                               | Otras Importadoras                           |
|                               | Navarro y Cia.                               |
| Industria de maíz Y Alimentos | Industria del maíz                           |
|                               | Nestlé Chile                                 |
| Laboratorios                  | Laboratorio Chile                            |
|                               | Merck Ltda.                                  |
|                               | Industrias Químicas                          |
|                               | Anglo  |
|                               | Sales y Compuestos                           |
| Minería                       | Compañía Minera Anax Guanaco                 |
|                               | Compañía Minera Dayton S.A.                  |
|                               | Compañía Minera El Indio                     |
|                               | Compañía Minera Mantos de oro                |
|                               | Compañía Minera Maricunga                    |
|                               | MaricungaComercializadora Nacional del Cobre |
|                               | Inversiones Mineras El Inca                  |
|                               | Otras Mineras                                |
| Protección y Seguridad Minera | Insesa S.A.                                  |
|                               | M.S.A.                                       |
|                               | PROSEG                                       |

**Tabla 5.12 – Empresas por Rubro Demandantes de Carbón Activo en Chile – (Base de Datos Aduana)**

|                           |                             |
|---------------------------|-----------------------------|
| Jugos, Bebidas y Cervezas | Agroindustria Nacional S.A. |
|                           | Jugos Concentrados S.A.     |
|                           | Cargill, jugos de fruta     |
|                           | Embotelladora Andina        |
|                           | Embotelladora Williamson    |
|                           | Cervecerias Andina          |

**Tabla 5.12 (conti.) – Empresas por Rubro Demandantes de Carbón Activo en Chile – (Base de Datos Aduana)**

☑ Participación de Empresas Chilenas Importadoras de Carbón Activado por Rubro:

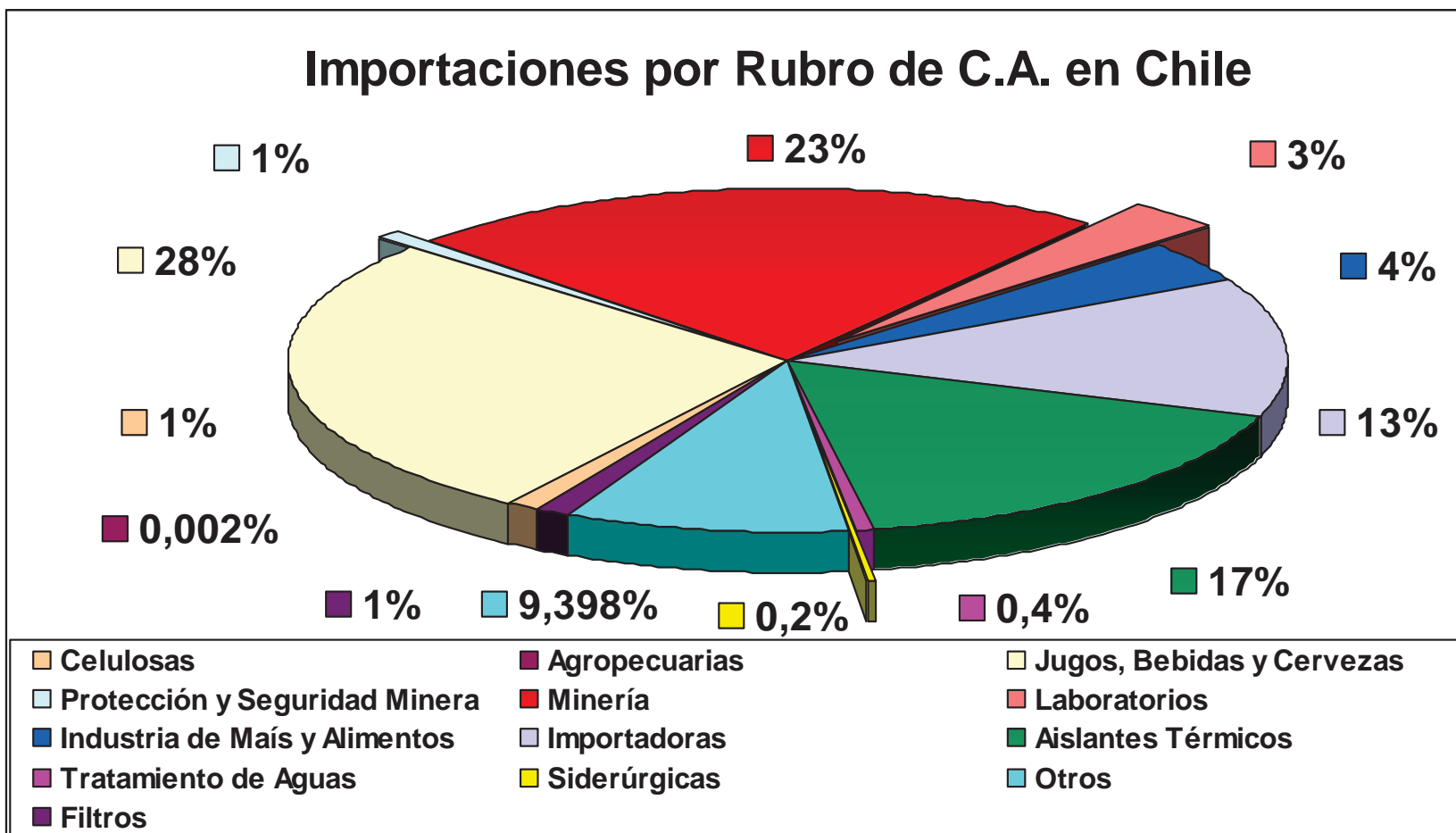


Figura 5.2 – Participación de Empresas por Rubro Demandantes de Carbón Activado en Chile Año 2004 – (Base de Datos Aduana)

Producción para Rubros de Empresas Importan Carbón Activo a Chile

| Rubro                         | %           | Ton Año 10   |
|-------------------------------|-------------|--------------|
| Celulosas                     | 1%          | 17           |
| Agropecuarias                 | 0%          | 0            |
| Jugos, Bebidas y Cervezas     | 27%         | 463          |
| Protección y Seguridad Minera | 1%          | 17           |
| Minería                       | 23%         | 395          |
| Laboratorios                  | 3%          | 51           |
| Industria de Maíz y Alimentos | 4%          | 69           |
| Importadoras                  | 13%         | 223          |
| Aislantes Térmicos            | 17%         | 292          |
| Tratamiento de Aguas          | 0%          | 7            |
| Siderúrgicas                  | 0%          | 3            |
| Otros                         | 9%          | 161          |
| Filtros                       | 1%          | 17           |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>100%</b> | <b>1.716</b> |

**Tabla 5.13 – Formatos y Aplicaciones del Carbón Activo en Chile – (Base de Datos Aduana)**

Clasificación por Formato y Aplicación las Importaciones de Carbón Activo a Chile

| Formato         | Aplicación  |
|-----------------|---|
| Amorfo, Pellets | Filtros en tratamiento de Aguas                   |
| Granular        | Adsorción de gases:<br>Aislantes Térmicos         |
| Polvo           | Adsorción Líquida:<br>Decolorante<br>Clarificador |

**Tabla 5.14 – Formatos y Aplicaciones del Carbón Activo en Chile – (Base de Datos Aduana)**



☑ Importaciones por Formato de Carbón Activado de Empresas Chilenas:

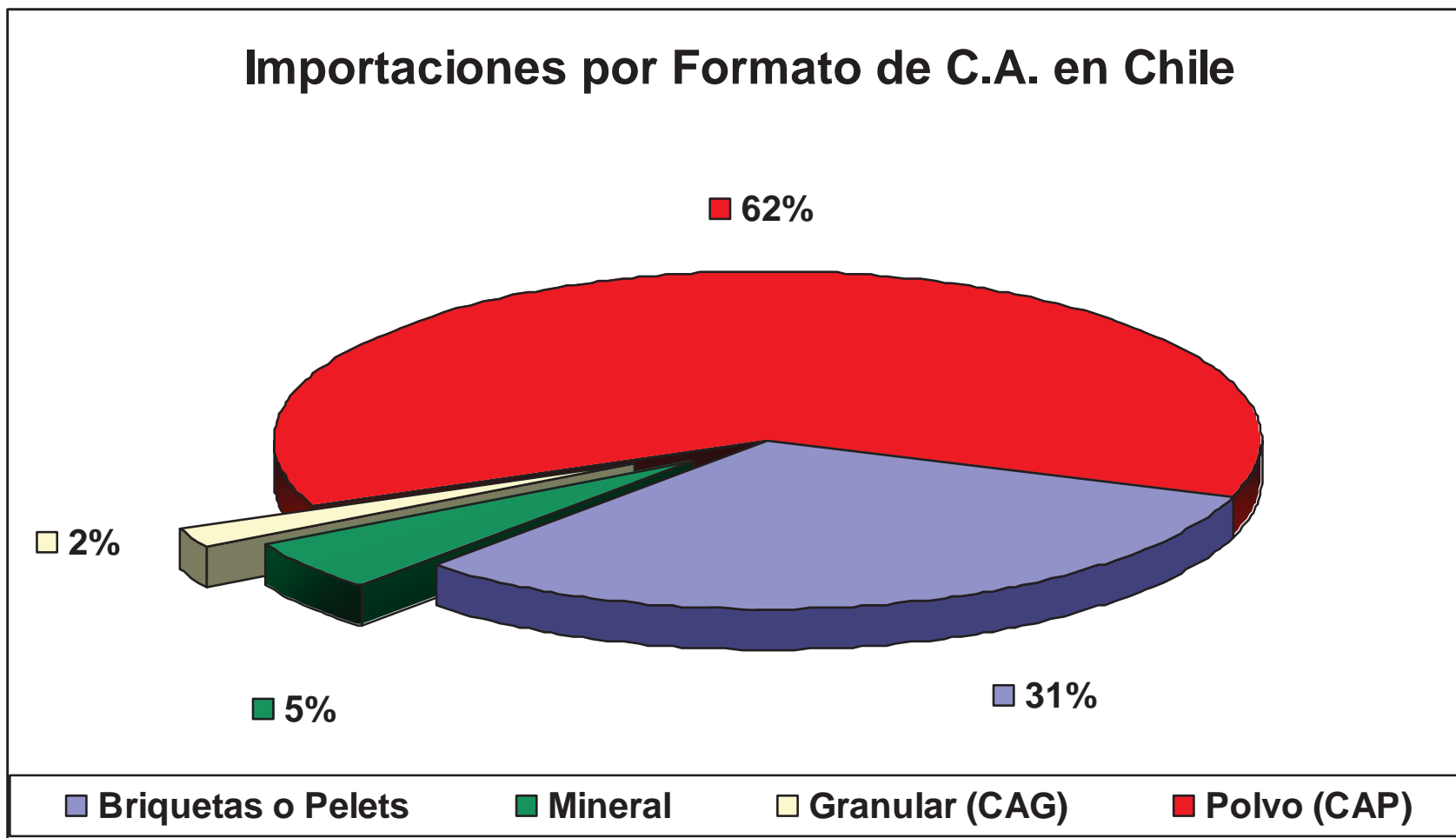


Figura 5.3 – Participación de Importaciones por Formatos Demandados de Carbón Activado en Chile Año 2004 – (Base de Datos Aduana)

La tendencia es a importar Carbón Activado en Polvo (CAP), donde se asocia a los procesos productivos como decoloración y adsorción líquida en general. Los países que exportan Carbón Activado a Chile, se muestra en la **Tabla 5.15** y la **Figura 5.4**.

Países que Exportan Carbón Activo a Chile

| Nombre País    |
|----------------|
| SUDAFRICA      |
| EGIPTO         |
| MEXICO         |
| PERU           |
| BRASIL         |
| ARGENTINA      |
| ESTADOS UNIDOS |
| CANADA         |
| SRI LANKA      |
| INDONESIA      |
| CHINA          |
| ITALIA         |
| FRANCIA        |
| INGLATERRA     |
| HOLANDA        |
| ALEMANIA       |

**Tabla 5.15 – Países que Exportan Hacia Chile Carbón Activado Año 2007 – (Base de Datos Aduana)**

☑ Importaciones por Aplicación de Carbón Activado de Empresas Chilenas:

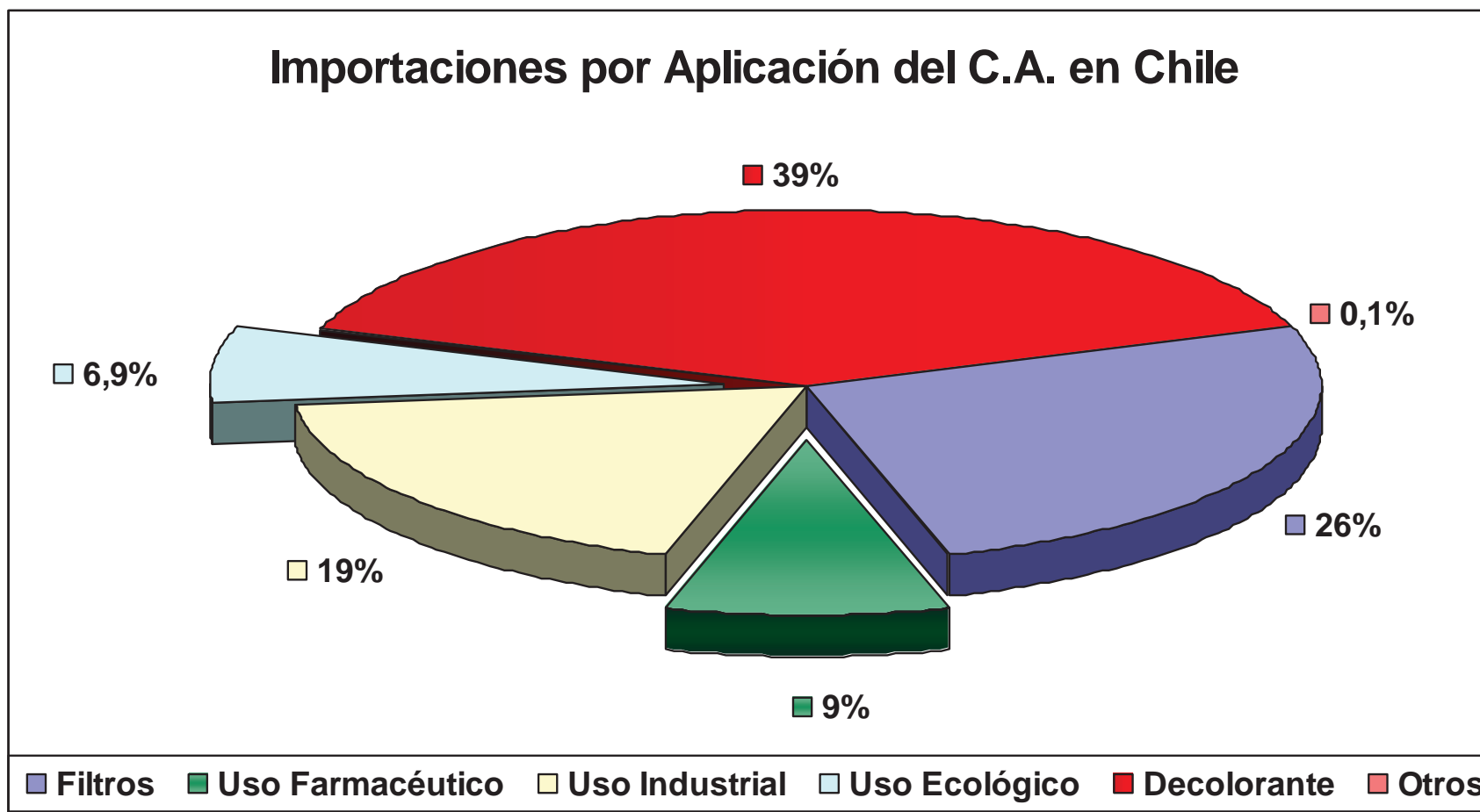


Figura 5.4 – Participación de Importaciones por Aplicación de Carbón Activado en Chile Año 2004 – (Base de Datos Aduana)

## 5.5 Análisis de la Oferta

### 5.5.1 Caracterización de los Ofertantes

El Carbón Activo es exportado principalmente a los mercados de Argentina, EE.UU., Brasil y Alemania, siendo las aplicaciones importantes la de decoloración y filtros en tratamientos de agua. La fuerte demanda desde Argentina y otros países por Carbón Activado, se debe a la escasa materia prima (ausencia de recursos forestales), pero ya hace unos años el vecino país incorporó una fábrica de Carbón Activo a partir de Cáscaras de Maní, Argentina intenta dar una pequeña solución a su falta de producto, este se está generando por la Empresa: Cooperativa COTAGRO, con una idea innovadora, pues las cáscaras de maní era usadas solamente como combustible. En marzo de 2004 se comenzó a desarrollar el “Proyecto Carbón Activado de COTAGRO” que empezó a planearse hace más de quince años y se concretará en abril de 2005 con la apertura de la planta industrial planeada. Esto nos sugiere la idea de que los países han tendido a desarrollar procesos e investigación en el campo de distintos adsorbentes, ocupando precursores que provienen de Residuos Industriales Sólidos (RISes) como las cáscaras de maní. La idea de dar abastecimiento a la industria de procesos en el campo de absorbentes capaces de ser utilizados en las distintas áreas

### 5.5.2 Estimación de la Oferta

Se puede demostrar que la exportación de Carbón Activo desde Chile hacia los mercados internacionales es muy inferior a la importación, esto se muestra en la **Tabla 5.16** y la **Figura 5.5**.

- Exportaciones desde Chile de Carbón Activado al Mundo (Base de Datos Aduana)

|                      | 2002   | 2003   | 2004 | 2005  | 2006   | 2007  | Ene - Sep 2008 |
|----------------------|--------|--------|------|-------|--------|-------|----------------|
| <b>Cantidad US\$</b> | 80.792 | 40.000 | 0    | 2.981 | 19.810 | 944   | 21.278         |
| <b>Cantidad (KN)</b> | 42.387 | 45.000 | 0    | 510   | 11.000 | 1.060 | 6.400          |

**Tabla 5.16 – Exportaciones Anuales desde Chile de Carbón Activado - Consultas por Ítem País en (KN) y US\$ (CIF) - (Base de Datos Aduana)**

- ☑ Exportaciones de Carbón Activado desde Chile Hacia el Mundo en US\$ (CIF) y (KN):

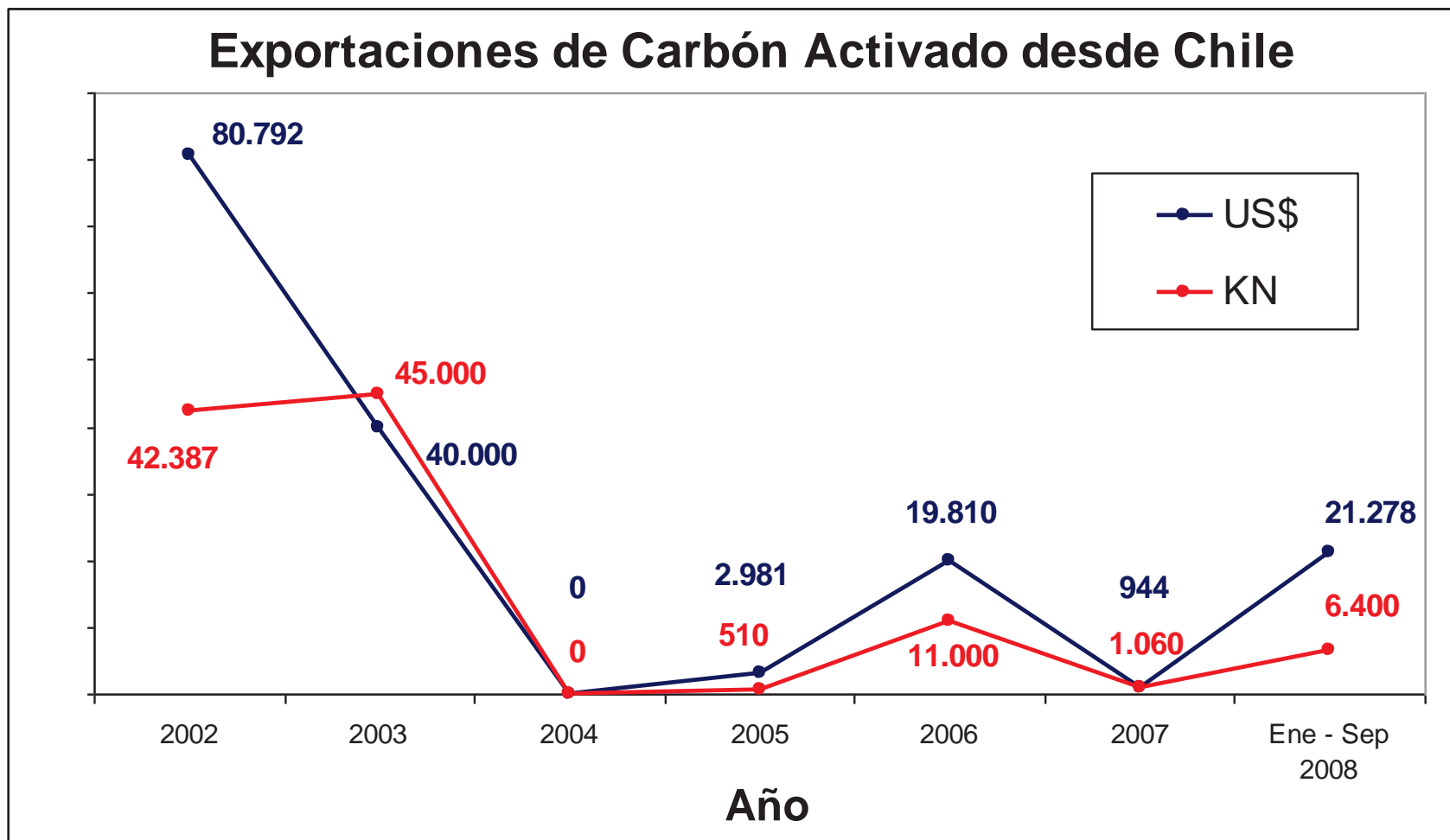


Figura 5.5 – Exportaciones de Carbón Activo desde Chile en US\$ (CIF) y (KN) – Ítem País - (Base de Datos Aduana)

En cuanto a las exportaciones entre los períodos 2002 y 2007, se puede obtener un promedio igual a la cantidad de 16.660 (KN) a valores promedios anuales para el mismo período de US\$ 24.088. Valores (FOB). Este promedio puede ser en muchos casos no ser representativo de los valores mencionados anteriormente año a año, puesto que la irregularidad en las exportaciones genera bastante incertidumbre. En la **Tabla 5.17**, se muestra a los nuevos países que importan Carbón Activo desde Chile.

| Nombre País        |
|--------------------|
| REINO UNIDO (2007) |
| ARGENTINA (2006)   |
| VENEZUELA (2006)   |

**Tabla 5.17 – Países Importadores desde Chile de Carbón Activo Año 2007 y 2006 – (Base de Datos Aduana)**

## 5.6 Análisis de Precios

El rango de precios por el cual se comercializa el Carbón Activo en Chile, presenta muchas variaciones, dependiendo de si este es producido en Chile o importado. Así podemos ver que en nuestro país, hay diversas empresas que importan o producen Carbón Activado de distintas marcas.

### 5.6.1 Precios del Producto en el Mercado Chileno

Para poder dar un precio al Carbón Activo debemos entender que este varía dependiendo de la procedencia de la materia prima, así como de las cualidades técnicas y forma de activación, también de la función que se desee éste cumpla. Se identifican algunas empresas del rubro que exportan desde Chile Carbón Activo, en la **Tabla 5.18**, se muestran las más importantes.

| Empresa                         | Año/Tipo | FOB Unitario (US\$/Kg) |
|---------------------------------|----------|------------------------|
| Importadora Barcelona           | 2007     |                        |
|                                 | CAG      | 2,9                    |
|                                 | CAP      | 2,9                    |
| PETROCHIL S.A.                  | 2007     |                        |
|                                 | CAG      | 4,63                   |
|                                 | CAP      | 4,63                   |
| Empresas VINICAS S.A.           | 2007     |                        |
|                                 | CAG      | 2,5                    |
|                                 | CAP      | 2,95                   |
| Proyectos y Equipos Hidráulicos | 2007     |                        |
|                                 | CAG      | 1,95                   |
|                                 | CAP      | 2,55                   |

**Tabla 5.18 – Valores (FOB) de Empresas que Venden Carbón Activo Año 2007 – (Base de Datos de Empresas)**



Haciendo una referencia especial a un producto de venta al detalle, se encuentra **Azoo Carbón Súper Activado 250 g**. Este Carbón es fabricado con Cáscaras de Nueces, no contiene impurezas y es muy adsorbente. Se utiliza para descontaminar acuarios y tiene una denominación de Carbón Súper Activado.

Este producto lo distribuye la empresa AQUAPLANT S.A. Chile y se muestra en la **Figura 5.6**, es de origen Chino y de un elevado costo desde los \$6.500/250 g. Es capaz de eliminar de manera efectiva los olores y las sustancias amarillas del agua, así como descomponer sustancias orgánicas disueltas, ácido carbónico, ácido tánico y retira el cloro residual del agua de la llave.

Tiene una vida media más prolongada que la mayor parte de los carbones Activados; 250 g. del producto pueden tratar 200 litros de agua durante 40 días. Este Carbón tiene un pH neutro. Se recomienda lavarlo en agua caliente antes de utilizarlo.



**Figura 5.6 – Azoo Carbón Súper Activado 250 (g) – AQUAPLANT S.A. Chile.**

## 5.6.2 Precios del Producto en el Mercado Internacional

Los precios a nivel Internacional son diversos y se presentan en la siguiente **Tabla 5.19**.

|  | <b>Materia Prima</b> | <b>\$/Kg</b> | <b>US\$/Kg</b> | <b>US\$/Ton</b> |
|--|----------------------|--------------|----------------|-----------------|
| <b>Aquamarket (México)</b>                             |                      |              |                |                 |
| Carbón Activado (Malla 8x30)                           | Cáscara de Coco      | 2.900        | 5,37           | 5.370           |
| Carbón Activado Granular (CA – 700)                    | Cáscara de Coco      | 970          | 1,80           | 1.796           |
| <b>Global Waters (México)</b>                          |                      |              |                |                 |
| Carbón Activado (Malla 8 x 30)                         | Cáscara de Coco      | 1.280        | 2,27           | 2.370           |
| Carbón Activado Granular (0,55 mm)                     | Cáscara de Coco      | 1.069        | 1,98           | 1.980           |
| <b>Carbotecnia (México)</b>                            |                      |              |                |                 |
| CAG (Malla 8x30 – 12x40)                               | Cáscara de Coco      | 1.100        | 2,04           | 2.037           |
| CAG, Impregnado con Ag al 0,1%<br>(Malla 8x30 – 12x40) | Cáscara de Coco      | 3.000        | 5,56           | 5.556           |
| <b>Carbonapelsa (México)</b>                           |                      |              |                |                 |
|  | Cáscara de Coco      | 1.107        | 2,05           | 2.050           |
| <b>Ecocarbones (Ecuador)</b>                           |                      |              |                |                 |
| Eco K-90 (Malla 6x20; Recup. de Oro)                   | Cáscara de Coco      | 1.188        | 2,0            | 2.200           |
| CAG (Malla 4x8; Tratamiento de líquidos)               | Cáscara de Coco      | 1.026        | 1,90           | 1.900           |
| <b>Cotagro (Argentina)</b>                             |                      |              |                |                 |
| CAG (Malla 8x30; Uso en Tratamiento de líquidos)       | Cáscaras de Maní     | 999          | 1,85           | 1.850           |

**Tabla 5.19 – Precios de CAG Utilizados en Minería e Industria para el Tratamiento de Líquidos. (Precios FOB) – Fuente: Elaboración en Base a Cotizaciones Año 2007.**

Los precios fluctúan entre los 1.900 y los 2.400 dólares por tonelada. Se observan algunos valores que superan los 4.500 dólares, estos precios se deben a que esos Carbones Activados poseen características especiales como impregnación con distintas cantidades de plata metálica (entre 0,1% y 1%) lo que lo hacen tener mayor eficacia en el tratamiento de aguas potables en la eliminación de bacterias.

## 5.7 Resumen Capítulo V

En el presente capítulo se desarrolló el estudio comercial del producto (carbón activo de cáscaras de nueces). Se determinó de manera general las oportunidades de negocio en la extracción de oro en minería, entregando antecedentes de los consumos promedio anuales de carbón activo por rubro de manera local como internacional y de sus cualidades aportadas por industria. Encontrando finalmente valores reales de sus precios en el mercado, tanto en el sector industrial y al detalle. En el capítulo VI, se encuentra el método de producción propio, en base a argumentos aportados por diferentes patentes, literatura, comentarios de revistas y sitios web especializados, pero sin identificar una en particular, si no, entregando un proceso propio, que sea visto de una forma general, como idea conceptual de producción, este proceso propio deberá estar acorde con las características buscadas en nuestro producto principal.

## **5.8 Bibliografía**

1. Osvaldo Sánchez. 2004. **Estudio de Mercado del Nogal Serr Fruto Nuez.** Chile.
2. María Victoria Reyes. 2006. **Situación y perspectivas de los cultivos de nogal y almendro en Chile.** Chile.
3. ChileNut. 2006. **Tendencia Mundial de Producción y Consumo de Nueces de Nogal,** Chile.
4. ChileNut. 2008. **Estadística Mercado Nueces de Nogal Chilena. Información Aduanera, Actualizada a Junio 2008,** Chile.

## ***CAPÍTULO VI***

### ***- Selección del Método de Producción -***

## 6.1 Introducción

Las características de los carbones no solo están determinadas por el material precursor que se utilice, si no además por el método de preparación que tenga este. La Activación Química y Física son las clasificaciones generales en cuanto a la forma de obtener Carbón Activo que existen hoy en día, las cuales están sujetas a ciertas variaciones, dependiendo de la materia prima a utilizar. Si tomamos por ejemplo dos precursores distintos un Carbón mineral como la antracita y un Carbón vegetal como el proveniente de la madera, estos en base a sus cualidades físicas y químicas darán un Carbón Activado distinto si el tipo de activación es el mismo, dado que .

La variación de los parámetros de pirolisis y activación podrán generar similitudes en carbones de precursores diferentes, cuando estas variaciones conduzcan a entregar superficies, forma y diámetro de poros, etc. similares en ambos carbones generados. De acuerdo con esto podremos decir que puede haber diferencias significativas entre los Carbones Activados incluso si estos provienen de la misma materia prima, ya que dependiendo del tipo y condiciones de la activación y pirolisis, podrán tener características distintas.

## 6.2 Estado del Arte

El uso de los materiales de Carbón se pierde la historia, de forma que es prácticamente imposible determinar con exactitud cuando el hombre comenzó a utilizarlos. Lo cierto es que antes del uso de lo que en la actualidad denominamos carbones Activos, es decir carbones con una estructura porosa altamente desarrollada, ya se emplearon como adsorbentes el Carbón vegetal, o simplemente maderas parcialmente desvolatilizadas o quemadas.

Los primeros usos de estos primitivos carbones Activos, generalmente preparados a partir de madera carbonizada (Carbón Vegetal), parecen haber tenido aplicaciones médicas. Así, en Tebas (Grecia) se halló un papiro que data del año 1550 a.C. en el que se describe el uso de Carbón vegetal como adsorbente para determinadas prácticas médicas. Con posterioridad, en el año 400 a.C., Hipócrates recomienda filtrar el agua con Carbón vegetal para eliminar malos olores y sabores y para prevenir enfermedades. En relación al tratamiento del agua con Carbón Activo, se sabe que ya 450 años a.C. en los barcos fenicios se almacenaba el agua para beber en barriles con la madera parcialmente carbonizada por su cara interna. Esta práctica se continuó hasta el siglo XVIII como medio para prolongar el suministro de agua en los viajes transoceánicos. Sin embargo, la primera aplicación documentada del uso de Carbón Activo en fase gas no tiene lugar hasta el año 1793, cuando el Dr. D.M. Kehl utiliza el Carbón vegetal para mitigar los olores emanados por la gangrena. El mismo doctor también recomienda filtrar el agua con Carbón vegetal.

La primera aplicación industrial del Carbón Activo encontró lugar en 1794, en Inglaterra, utilizándose como agente decolorizante en la industria del azúcar. Esta aplicación permaneció en secreto por 18 años hasta que en 1812 apareció la primera patente. En 1854 tiene lugar la primera aplicación a gran escala del Carbón Activo en fase gas, cuando el alcalde de Londres ordena instalar filtros de Carbón vegetal en los sistemas de ventilación de las cloacas. En 1872 aparecen las primeras



máscaras con filtros de Carbón Activo utilizados en la industria química para evitar la inhalación de vapores de mercurio.

Sin embargo el término adsorción no fue utilizado hasta 1881 por Kayser para describir como los carbonizados atrapaban los gases. Aproximadamente por estas fechas R. Von Ostrejko, considerado el inventor del Carbón Activo, desarrolla varios métodos para producir Carbón Activo tal y como se conoce en nuestros días, más allá de simples carbonizados de materiales orgánicos o del Carbón vegetal. Así, en 1901 patentó dos métodos diferentes para producir Carbón Activo. El primero consistía en la carbonización de materiales lignocelulósicos con cloruros de metales; lo cual resulto la base de lo que hoy en día es la Activación Química. En el segundo, proponía una gasificación suave de materiales previamente carbonizados con vapor de agua o  $CO_2$ ; es decir una Activación Física, o mas correctamente térmica.

La Primera Guerra Mundial, y el uso de agentes químicos durante esta contienda, trajo como consecuencia la necesidad urgente de desarrollar filtros de Carbón Activo para máscaras de gas. Sin duda este acontecimiento fue el punto de partida para el desarrollo de la industria de Carbón Activo y de un buen número de carbones Activos usados no solo en la adsorción de gases tóxicos sino en la potabilización de agua. A partir de este momento tubo lugar el desarrollo de multitud de carbones Activos para las aplicaciones más diversas: depuración de gases y aguas, aplicaciones médicas, soporte de catalizadores, etc.

## 6.3 Tipos de Activación

### 6.3.1 Activación Química

Este tipo de activación el precursor se hace reaccionar con un agente químico activante, como se muestra en la **Figura 6.1**. En este caso la activación suele tener lugar en una única etapa a temperaturas que pueden variar entre 450 y 900 °C. No obstante, en este tipo de activación, es necesaria una etapa posterior de lavado del Carbón Activado para eliminar los restos del agente activante. Existen numerosos compuestos que podrían ser usados como agentes activantes, sin embargo los más usados industrialmente son el cloruro de zinc ( $ZnCl_2$ ), el ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) y el hidróxido de potasio (KOH).

La Activación Química con ( $ZnCl_2$ ) fue el método mas usado hasta 1970, especialmente para la activación de residuos de madera. Su uso, sin embargo, se ha restringido mucho en la actualidad debido a los problemas medioambientales que conlleva el uso del ( $ZnCl_2$ ). No obstante algunos países como China aun siguen usando este método para producir Carbón Activado.

La Activación Química con ( $H_3PO_4$ ) prácticamente ha desplazado al ( $ZnCl_2$ ) y los precursores usados en este tipo de activación son en su mayoría, como en el caso del ( $ZnCl_2$ ), residuos forestales (madera, cáscara de coco, hueso de aceituna, etc.). La activación con ( $H_3PO_4$ ) implica las siguientes etapas:

1. Molienda y clasificación del material de partida.
2. Mezcla del precursor con ( $H_3PO_4$ ) (reciclado y fresco).

3. Tratamiento térmico en atmósfera inerte entre 100 y 200 °C, manteniendo la temperatura aproximadamente 1h, seguido de un nuevo tratamiento térmico hasta 400 – 500 °C, manteniendo esta temperatura en torno a 1h.
4. Lavado, secado y clasificación del Carbón Activado, y reciclado del ( $H_3PO_4$ ).

☑ Esquema Básico de Producción Industrial de Carbón Activado por medio de Activación Química:

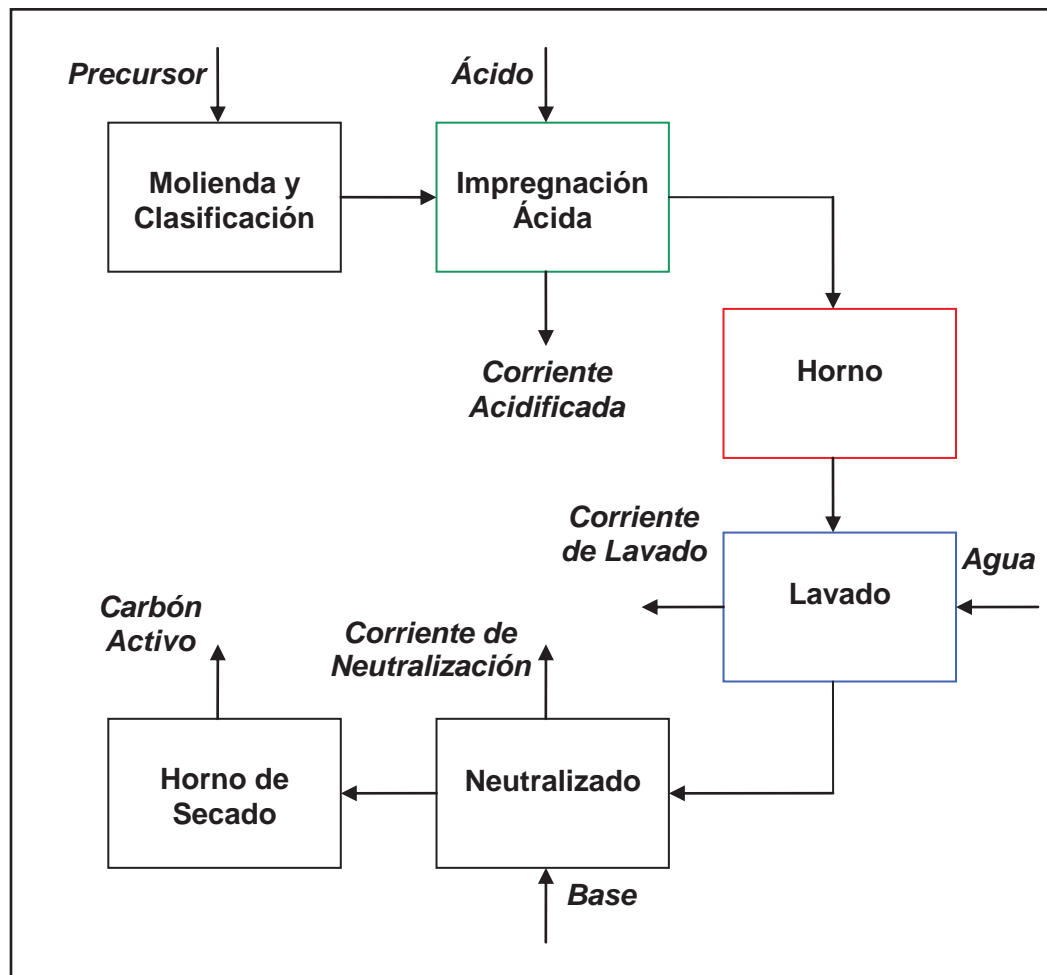


Figura 6.1 – Esquema del Proceso de Producción de Carbón Activado Químicamente.

La proporción ( $H_3PO_4$ ): precursor más empleada suele ser 1:5 (aunque proporciones diferentes dan lugar a carbones con distintas propiedades), el rendimiento en Carbón Activado suele ser del 50%. La Activación Química con KOH se desarrollo durante los años 70, para producir los denominados “carbones súper Activados”, con superficies específicas del orden de los 3000 m<sup>2</sup>/g.

A diferencia de los otros dos agentes activantes, los precursores preferibles par la activación con KOH son aquellos de bajo contenido en volátiles y alto contenido en carbono, como los carbones minerales de alto rango, carbonizados, coque de petróleo, etc. En esta activación el KOH se mezcla con el precursor, en una suspensión acuosa o mediante una simple mezcla física, en proporciones KOH: precursor entre 2:1 y 4:1. Cuando la impregnación tiene lugar en medio acuoso, la activación se lleva a cabo en dos tratamientos térmicos consecutivos en atmósfera inerte. El primero a temperaturas bajas, pero superiores a los 200 °C (que se utiliza solo para evaporar el agua y dispersar el KOH) y el segundo entre 700 y 900 °C. En el caso de una mezcla física no es necesario llevar a cabo el primer tratamiento.

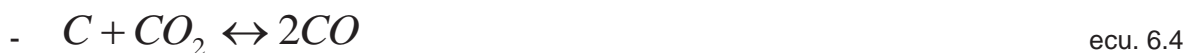
### 6.3.2 Activación Térmica

La Activación Térmica, también Activación Física, como se muestra en la **Figura 6.2**, a pesar de que la activación se produce por la reacción (química) del agente activante (un oxidante como el aire, vapor de agua, CO<sub>2</sub>, etc.) con el carbono del material que está siendo Activado. Este tipo de activación consta de varia etapas. Así, a veces son necesarios ciertos pre - tratamientos como la molienda y el tamizado para obtener un tamaño adecuado del precursor.

En otras ocasiones el material de partida es molido hasta formar un fino polvo, después compactado con algún aglomerante en forma de briquetas y luego vuelto a moler hasta obtener el tamaño deseado. De esta forma se consigue una mejor difusión del agente activante y por tanto una mejor porosidad en el Carbón Activado resultante.

Otra etapa previa a la activación propiamente dicha es la carbonización, en la cual el precursor es sometido a elevadas temperaturas (del orden de los 400 a 500 ° C) en ausencia de aire, para eliminar las sustancias volátiles y dejar un residuo carbonoso que será el que se someta a la activación. Durante la desvolatilización, la salida de los gases y vapores del precursor produce una porosidad “incipiente” en el carbonizado, la cual se desarrolla aun más durante la etapa de activación.

La activación propiamente dicha puede ser un proceso totalmente independiente de la carbonización o llevarse a cabo a continuación de ésta. Consiste en hacer reaccionar al agente activante con los átomos de carbono del carbonizado que está siendo Activado; de forma que se produzca un “quemado selectivo” que va horadado progresivamente al carbonizado, generando poros y aumentando la porosidad hasta transformarlo en un Carbón Activado. Los agentes activantes que se suelen usar son: Oxígeno (raramente a escala industrial) aire, vapor de agua (el mas usado) y CO<sub>2</sub>. Estos agentes dan lugar a las siguientes reacciones químicas que eliminan átomos de carbono produciendo así la porosidad. En las siguientes ecuaciones se muestran las reacciones con diferentes agentes activantes:



En la carbonización se eliminan elementos como hidrógeno y oxígeno gaseosos de la materia prima, para dar lugar a un esqueleto carbonoso con una estructura porosa rudimentaria. Durante la gasificación el carbonizado se expone a una atmósfera oxidante, que puede ser vapor de agua, CO<sub>2</sub> o una mezcla de ambos,

que elimina los productos volátiles y átomos de carbono, aumentando el volumen de poros y la superficie específica. La carbonización y la activación se realizan en distintos tipos de hornos, principalmente hornos rotatorios construidos en acero y materiales refractarios para soportar las elevadas temperaturas de activación, cercanas a los 1.000 °C.

- ☑ Esquema Básico de Producción Industrial de Carbón Activado por medio de Activación Física:

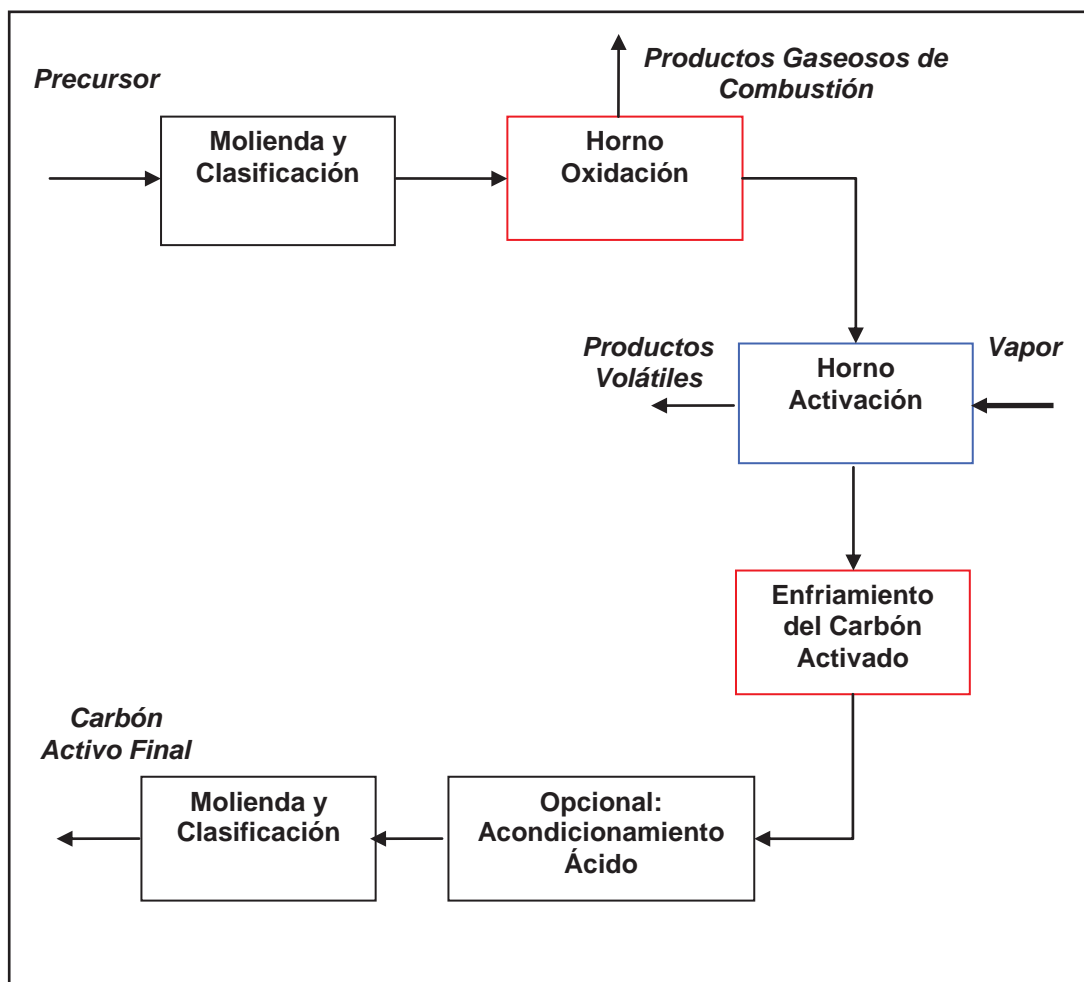


Figura 6.2 – Esquema del Proceso de Producción de Carbón Activado Físicamente.

## 6.4 Selección del Método de Producción

El análisis de los procesos de activación nos sugiere que nuestro proceso sea el de Activación Física ya que es el más usado en la generación de Carbón Activado en Polvo (CAP), la activación producto de gases oxidantes como el vapor de agua y  $\text{CO}_2$  a alta temperatura nos generara un Carbón a partir de Cáscaras de Nueces, dado que las pruebas de laboratorio han dado antecedentes suficientes acerca de las capacidades adsorbentes de este tipo de Carbón Activado con vapor de agua a  $800\text{ }^\circ\text{C}$ .

De acuerdo al análisis de mercado, la disponibilidad de la materia prima en Chile y pruebas de calidad de Carbones Activados obtenidos a partir de distintos precursores, se optó por producir Carbón Activo a partir de los desechos industriales de la industria nogalera, esta Materia Prima está disponible tanto dentro como fuera del país, adquiriéndola en diversos países de los cuales se puede importar. El proceso de adsorción de aurocianuro por parte del Carbón Activado de Cáscaras de Nueces ha sido probado y se pueden ver los resultados en la etapa de Investigación. El proceso contemplara las siguientes etapas de pirolisis y Activación Física:

1. Molienda y Clasificación.
2. Carbonización.
3. Activación.
4. Enfriamiento del Carbón Activado
5. Opcional: Acondicionamiento del Carbón Activado con Solución Ácida.
6. Molienda y Clasificación.

Se presenta ahora un resumen de los criterios más importantes en la selección del proceso y las características de las materias primas involucradas, como se muestra en la **Tabla 6.1**:

| <b>Criterios de Selección del Proceso</b> |                                       |   |
|---|---------------------------------------|---|
| <b>Activación</b>                         | Física                                | Utilizada para producir Carbones Activados implementados en diversas aplicaciones de adsorción, donde la activación con Vapor de Agua es la más utilizada. Se usa en la adsorción del Oro.  |
| <b>Activador</b>                          | Vapor de Agua                         | Medio de Activación Física, este agente oxidante genera y modifica la superficie del Carbón Activado obtenido, librando la superficie de carbonos y eliminándolos de la superficie y convirtiéndolos a CO y luego a CO <sub>2</sub> . |
| <b>Precursor</b>                          | Desechos de Cáscaras de Nueces        | Este precursor está siendo utilizado como combustible y se encuentra en gran cantidad como desecho de la industria del nogal, presentando buenas propiedades mecánicas y de adsorción en pruebas de laboratorio.                      |
| <b>Formato</b>                            | Polvo                                 | Este formato es el que cuenta con mayor importación en Chile, sus aplicaciones son variadas debido a su extensa superficie específica. Formato requerido especialmente en procesos de adsorción líquida.                              |
| <b>Aplicación</b>                         | Hidrometalurgia:<br>Extracción de Oro | En la industria de extracción de oro podemos encontrar Carbones Activos en base a precursores de Cáscaras de Coco, estos poseen una excelente capacidad de carga, regeneración debido a sus capacidades mecánicas.                    |

**Tabla 6.1 – Resumen Criterios más Importantes en la Selección del Proceso de Producción de Carbón Activado Físicamente.**



## 6.5 Tecnologías de Carbonización

En esencia para obtener Carbón vegetal a partir de la madera lo que se hace es crear una barrera física que aísla la madera del exterior, para evitar que al calentarla, el oxígeno del aire la incendie. De este modo se logra la carbonización. Las diferentes tecnologías que se utilizan se basan en:

- ☑ En las distintas formas de crear esta barrera física que puede ser de tierra, ladrillos, cemento armado y metal.
- ☑ En las distintas formas de secar y calentar la madera. Si el calor empleado está originado por la propia madera de la carga o por algún combustible (gas, madera, fuel, etc.) que se separa de la carga de madera que va a ser carbonizada.
- ☑ En función de que el proceso de producción sea continuo o discontinuo. En los procesos continuos, el Carbón se obtiene sin interrupción, frente a los procesos discontinuos en los que transcurren varios días entre una obtención de Carbón y la siguiente obtención.

Las tecnologías continuas y de alta producción, con sistemas de control más o menos sofisticados, se denominan industriales a diferencia de las artesanales como la parva tradicional que es un proceso discontinuo.

## 6.6 Procesos de Obtención de Carbón Activado

Los productos de carbón activado, se producen a partir de materiales orgánicos que poseen un alto contenido en carbono, como: carbón, lignito, madera, cáscaras de nueces, turba, coque, etc. La elección del precursor, depende en gran medida a su disponibilidad, costo y pureza, para minimizar contaminantes nocivos al ambiente, sobre todo en la etapa de carbonización y luego la activación térmica con un agente activante. Los procesos de activación se dividen en dos categorías, la activación térmica y la química, la porosidad del carbón producido por medio de una activación térmica es el resultado del tratamiento con un agente activante como el vapor de agua, a temperaturas elevadas, entre 800 y 1.000 °C, en cambio la porosidad de un carbón activado químicamente, es producida por las reacciones de deshidratación a temperaturas considerablemente más bajas, entre 400 y 700 °C.

**Proceso de Activación Térmica:** La activación térmica se produce en dos etapas distintas y consecutivas: la descomposición térmica o carbonización del precursor y la gasificación del carbón residual alojado en la superficie porosa del carbón activo, a través de un agente activante, generalmente vapor de agua. Durante la carbonización se elimina hidrógeno y oxígeno del precursor, para producir una estructura carbonada que posee una estructura de poros latentes. Durante la etapa de activación con un agente activante, el carbón se expone a una atmósfera oxidante que aumenta el volumen de los poros y la superficie específica del carbón, a través de la eliminación de los productos volátiles subproductos de la carbonización. El proceso de puede ver en la **Figura 6.3**.

☑ Activación Térmica de Carbón Bituminoso:

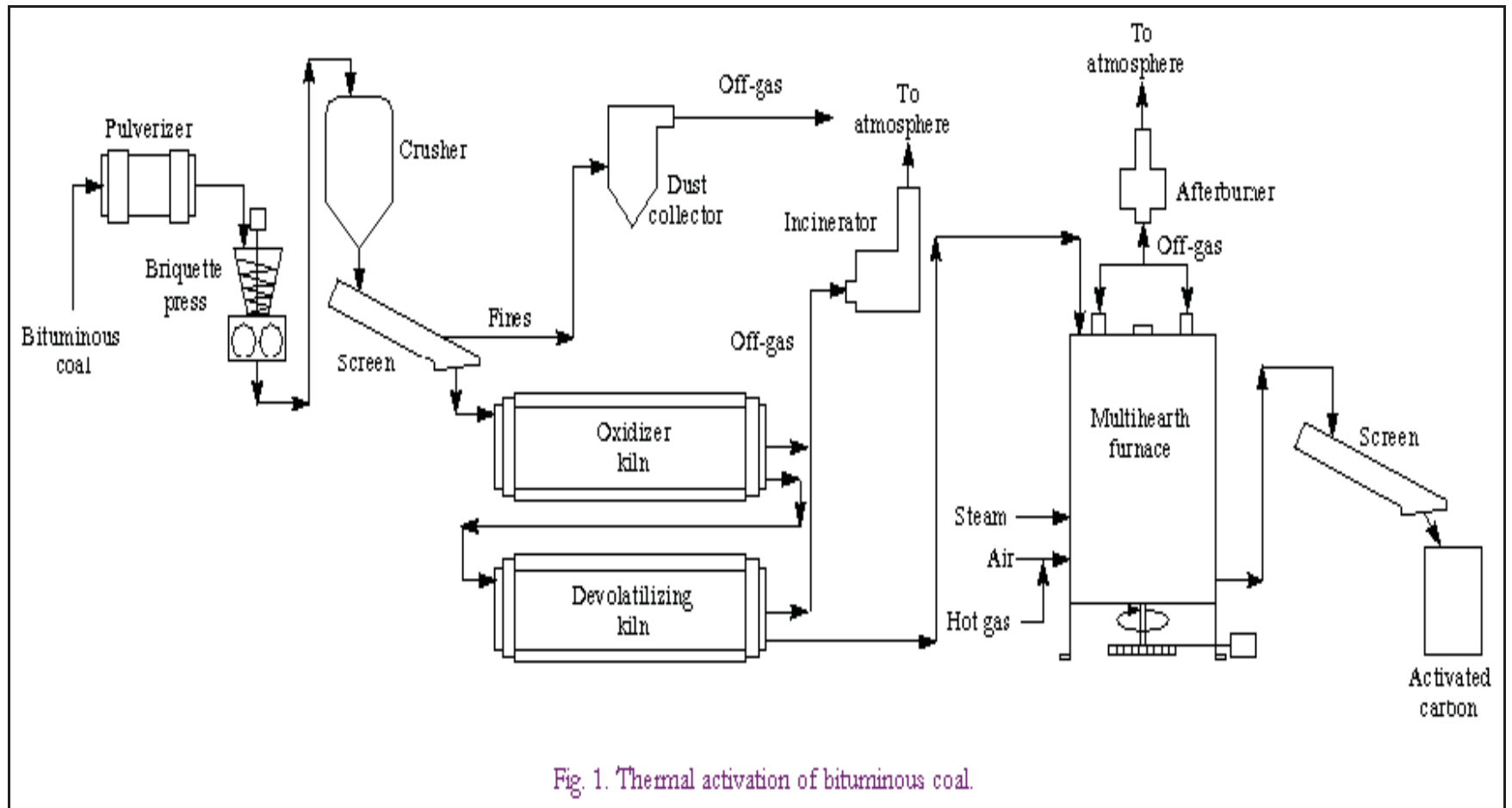


Fig. 1. Thermal activation of bituminous coal.

Figura 6.3 – Activación Térmica de Carbón Bituminoso – Fuente Enciclopedia (Kirk – Othmer)

☑ **Proceso de Activación Químico:** En contraste con el proceso de activación térmica, la activación química se realiza generalmente en un horno comercial único. El precursor que es generalmente de madera, se impregna con un agente de activación química, por lo común es ácido fosfórico, y la mezcla se calienta a una temperatura de 400 a 700 °C. Los agentes químicos de activación reducen la formación de alquitrán y otros productos, lo que aumenta el rendimiento de carbono. El proceso de activación química se ilustra en la **Figura 6.4**, para la producción de carbón activado granular de madera. El aserrín se impregna con ácido fosfórico concentrado y se alimenta a un horno rotatorio, donde se seca y se carboniza, la activación ocurre a la temperatura moderada de 450 °C normalmente, El carbón se lava con agua para eliminar el ácido de este y luego se separa a través de un proceso de filtración.

☑ Proceso de Activación Químico de la Madera:

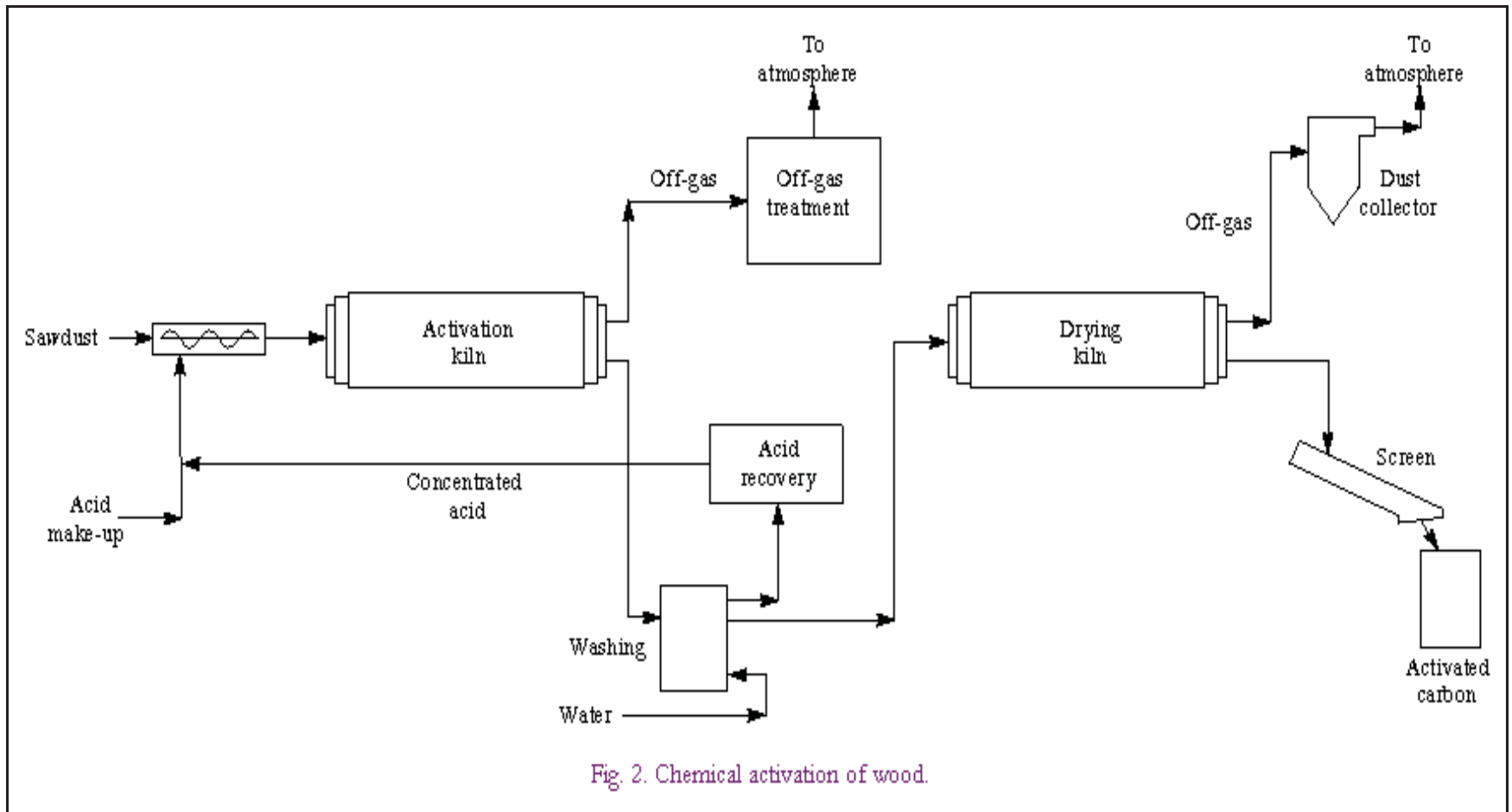


Figura 6.4 – Proceso de Activación Químico de la Madera – Fuente Encyclopedia (Kirk – Othmer)

## 6.6.1 Memoria Descriptiva del Proceso de Activación

Descripción del estado de la técnica

Para desarrollar una idea de proceso eficiente y conocido nos basaremos en los datos ya recopilados con anterioridad de carbonización y activación especificada y esquematizada en la **Figura 6.2**, el diagrama muestra cual es el proceso de manera generalizada de Activación Física. En cuando a los fundamentos específicos de Activación Física, se cuenta con información proveniente de patentes específicas de manufactura de Carbón Activado por precursores si bien distintos al de la Cáscara de Nuez, similares en la forma de tratar cualquier precursor vegetal. Un proceso Industrial en el tratamiento de Cáscaras de Nueces como precursor hacia la obtención de Carbón Activo, no ha sido recopilado en las fuentes consultadas tanto en literatura como en la Organización Mundial de Propiedad Intelectual (OMPI), sin embargo se ha recopilado de la literatura las bases generales antes mencionadas y de la OMPI procesos productivos de los cuales podremos basar el diseño de planta definitivo, en dos patentes encontradas del grupo Manufacture and Processing of Activated Carbon como son las siguientes:

1. **Title:** Process for making activated carbon from agglomerative coal. **Document Type and Number:** United States Patent 3951856. **Fecha de Publicación:** 04/20/1976. **Inventores:** Repik, Albert J. (Charleston, SC); Miller, Charles E. (Mount Pleasant, SC); Johnson, Homer R. (Charleston, SC).

2. **Title:** Method for producing shaped, activated charcoal. **Document Type and Number:** United States Patent 6902589. **Fecha de Publicación:** 06/07/2005. **Inventores:** Guderian, Joachim (Castrop-Rauxel, DE); Heil, Volker (Dortmund, DE);

Horn, Christian (Dortmund, DE); Feseker, Michael (Dortmund, DE); Sohnemann, Jens (Dortmund, DE).

La preparación de carbones activos se puede llevar a cabo a partir de diversos precursores que contienen carbón de distinto origen. Así, es un procedimiento habitual a partir de precursores lignocelulósicos agrícolas como se recoge en las patentes españolas 426440, 544081 y P200002114 las cuales describen procesos de obtención a partir de hueso de aceituna y orujo, la primera de ellas, a partir de paja de cereales y cáscara de almendra, la segunda y usando pulpa de manzana, la tercera. La patente suiza 511192 recoge el procedimiento partiendo de madera resinosa, mientras que la patente polaca 72948 utiliza aserrín y hueso de frutas. Análogamente la patente alemana 2052507 y la húngara 482750 parten de materia vegetal para la preparación de carbones activados. Carbones minerales como el coque o la hulla se pueden utilizar, en lugar de los precursores anteriores, tal y como se describe en la patente española P9003143 y en la patente US 3840476. En todos los casos anteriormente mencionados el procedimiento, básicamente consta de dos etapas: en primer lugar la pirólisis, en atmósfera inerte a elevada temperatura que produce carbonizados, y en segundo lugar la activación de dichos carbonizados. Mediante estos procedimientos, y utilizando los precursores anteriormente mencionados, se obtienen carbones activos con superficies específicas desarrolladas y una elevada nanoporosidad.

Sin embargo esta nanoporosidad es polimodal: es decir el tamaño de los nanoporos que tienen en su estructura es muy variado, lo cual es debido a que la estructura del precursor de partida es muy heterogénea. Hay que tener en cuenta que este parámetro (distribución de los nanoporos) es fundamental en la aplicación de los carbones activos. Así los carbones activos con una distribución polimodal y con elevada superficie presentan una baja selectividad en aquellos procesos en que estas sustancias tienen aplicación, como son los de adsorción y catálisis. Por esta razón, gran parte de las utilidades de estos carbones activos son limitadas a pesar de su elevada superficie. El análisis de los procesos de activación nos sugiere que nuestro

proceso sea el de Activación Física, con el cual podremos tener un Carbón Activado con propiedades de superficie excelentes en cuanto a la adsorción de aurocianuro en los procesos hidrometalúrgicos. Las patentes seleccionadas se pueden ver directamente en la Organización Mundial de Propiedad Intelectual (OMPI) y en el **Anexo N° I**.

### **6.6.2 Proceso Definitivo de Activación Física**

Se elige el proceso de Activación Física, ya que este permite entregar un carbón con excelentes características de adsorción para los requerimientos en los procesos de las industrias de interés comercial, como son la industria minera y la industria de alimentos. Las distintas etapas del proceso de Activación Física escogido, se recopilaron en base a diferentes patentes donde se encausa a un método particular avalado en las tecnologías usadas actualmente.

El procedimiento definitivo en base a los antecedentes recopilados de las diversas fuentes acerca de los procesos de activación de carbones procedentes de distintas materias primas nos sugiere que nuestro Carbón Activado de Cáscaras de Nueces puede prescindir de las etapas de mezclado con un ligante y su conformado, ya que esta etapa del proceso que se ocupa para precursores como la madera, los cuales poseen bajos índices de adsorción, puede generar una mejor calidad del carbón obtenido después de la etapa de pirolisis y activación. Estos procesos previos nombrados anteriormente y que se muestran en la **Figura 6.5 y 6.6**, serán omitidos ya que la capacidad de adsorción de nuestro Carbón Activado de Cáscaras de Nueces posee excelentes índices de adsorción y solamente necesitan una etapa de pirolisis y activación para cumplir con las condiciones buscadas y entregadas desde las pruebas de laboratorio.

El proceso definitivo ha sido evaluado en base a las tecnologías actuales disponibles y en base a los resultados obtenidos desde laboratorio, avalando



un escalamiento desde los experimentos al proceso de Activación Física seleccionado, este debe contar con las siguientes etapas fundamentales:

**Primera Etapa: Pirolisis**

1. Recolección de las Cáscaras de Nueces.
2. Chancado Primario de las Cáscaras de Nueces.
3. Almacenamiento de las Cáscaras de Nueces.
4. Carbonización a una temperatura de 400 ° C en Horno Rotatorio, durante 20 minutos y Lavado de los Gases productos de la combustión.
5. Enfriamiento del Carbón de Cáscaras de Nueces Obtenido.
6. Almacenamiento del Carbón de Cáscaras de Nueces Obtenido.

**Segunda Etapa: Activación Física**

1. Transportar el Carbón de Cáscaras de Nueces nuevamente hacia el Horno Rotatorio.
2. Activación en presencia de Vapor de Agua a una temperatura de 750 a 850 °C en Horno Rotatorio, durante 30 minutos y Lavado de los gases producto de la Activación.
3. Enfriamiento del Carbón Activado hasta una temperatura de 30 °C.
4. Almacenamiento del Carbón de Cáscaras de Nueces Obtenido.

5. Molienda y Tamizado del Carbón Activado Obtenido a tamaño Polvo y Granular, diámetro (CAP < a 200 nm) y (CAG > a 2 nm y < 50 nm).
6. Envasado del CAG y CAP, sacos de 25 y 30 Kilogramos.
7. Almacenamiento del Producto en Bodega y Distribución del CAP y CAG.

☑ Etapas Definitivas del Proceso de Pirolisis de las Cáscaras de Nueces:

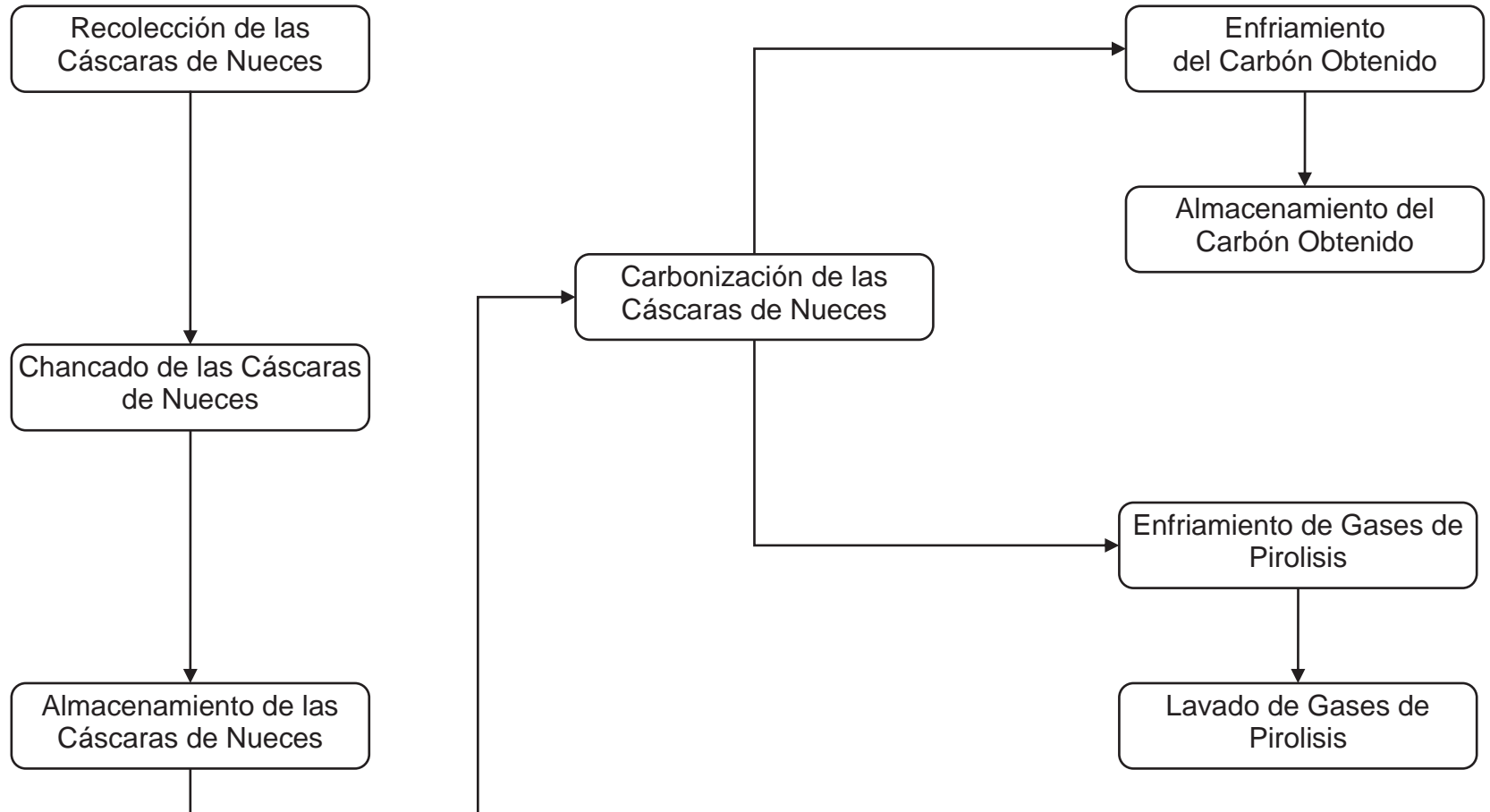


Figura 6.5 – Esquema Definitivo del Proceso de Pirolisis.

☑ Etapas Definitivas del Proceso de Activación Física del Carbón de las Cáscaras de Nueces:

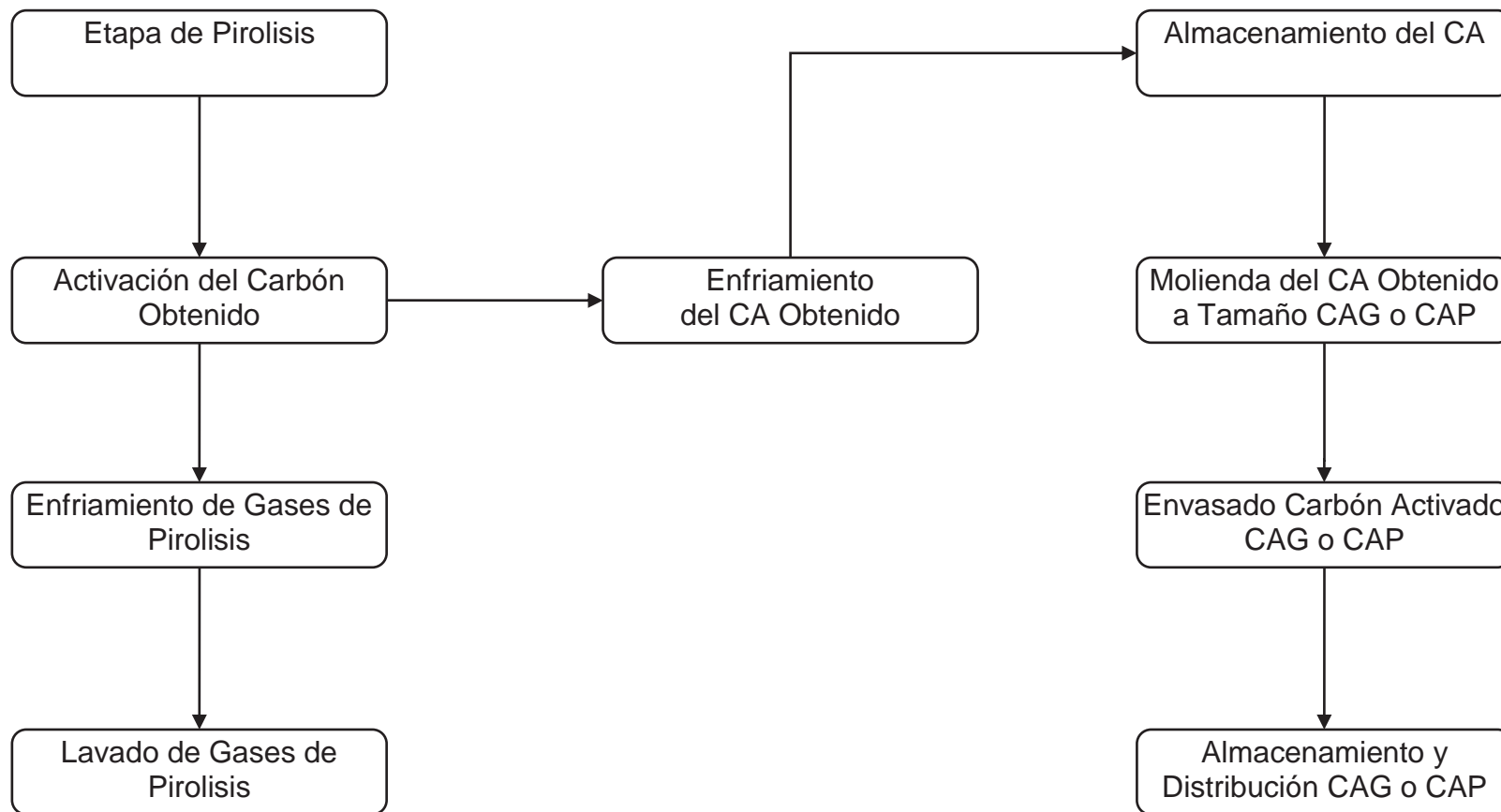


Figura 6.6 – Esquema Definitivo del Proceso de Activación Física del Carbón.

## 6.7 Estudio Legal

La legislación medio ambiental para este proyecto se basa en las siguientes regulaciones:

Ley 19.300: “Bases Generales del Medio Ambiente” de 1994 y D.S. N°95 de 2001, Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. De acuerdo a esta ley, la letra h, más específicamente h.2., del artículo 3 del título I afectaría al proyecto bajo las condiciones que se especifican en la letra siguiente:

k) *Instalaciones fabriles, tales como metalúrgicas, químicas, textiles, productoras de materiales para la construcción, de equipos y productos metálicos y curtiembres, de dimensiones industriales. Se entenderá que estos proyectos o actividades son de dimensiones industriales cuando se trate de:*

1. *Instalaciones fabriles cuya potencia instalada sea igual o superior a dos mil kilovoltios – Ampere (2.000 KVA), determinada por la suma de las capacidades de los transformadores de un establecimiento industrial. Tratándose de instalaciones fabriles en que se utilice más de un tipo de energía y/o combustibles, el límite de dos mil kilovoltios-ampere (2.000 KVA) considerará la suma equivalente de los distintos tipos de energía y/o combustibles utilizados. En el caso de que corresponda someterse a SEIA se debe tener en consideración lo detallado en el **Anexo III**. Para determinar la potencia instalada se utiliza la siguiente fórmula:*

2.  $P \text{ (KW)} / FP = S \text{ (KVA)}$ , donde FP representa el factor de potencia. Se tomará como factor de potencia 0,8. Se tiene que la potencia instalada es de 58,1 KW. Por lo tanto en KVA, la potencia es de 72,6 KVA.

**Regulaciones para emisiones atmosféricas fijas.** Cualquier persona jurídica o natural responsable de establecimientos que tengan emisiones atmosféricas de fuentes fijas deben cumplir con las siguientes regulaciones:

1. Las calderas de calefacción e industriales deben tener autorización sanitaria así como su operador (Decreto Supremo N° 48/1984; 144/1961).
2. No emitir humos visibles por más de 15 minutos al inicio del proceso (Resolución N° 1215/1978 Servicio de Salud).
3. Declarar al Servicio de Salud (SESMA) las emisiones de material particulado de fuentes estacionarias, con mediciones certificadas por empresas autorizadas (Resolución N° 15.027/1994 del Servicio de Salud).
4. A partir de Enero de 1998 no se permite emitir más de 56 mg/m<sup>3</sup> para fuentes puntuales establecidas, y no mas de 56 mg/m<sup>3</sup> para fuentes grupales nuevas (Decreto N° 4/1992; N° 19.057/1993, ambos del Ministerio de Salud).
5. En el caso de la Región Metropolitana, que ha sido declarada Zona Saturada, las nuevas industrias deben compensar sus emisiones de material particulado de fuentes fijas con fuentes ya establecidas (Decreto N° 812/1995). Decreto Supremo N° 4 del Ministerio de Salud. Esto significa que se debe realizar una solicitud de compensación al SESMA.
6. D.S: N°322/91 que indica los excesos de aire máximos permitidos para diferentes combustibles.

**Regulaciones para emisiones líquidas**

1. D.F.L N°725/67, Código Sanitario, Artículos 67, 73.
2. D.S. N°609/98 que norma la emisión para regular los contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a alcantarillados.
3. Ley 3133/16 que establece regulaciones para los residuos provenientes de establecimientos industriales.

**Regulaciones para emisión de ruidos**

1. D.S. 146/97 que norma la emisión de ruidos molestos provenientes de fuentes fijas.
2. D.S. 594/99 del Ministerio de Salud, Párrafo III

**Regulaciones para emisión de residuos sólidos**

1. D.F.L N°725/67, Código Sanitario del MINSAL, Artículos 78 al 81. Detalles en el Anexo IV. De acuerdo a lo señalado en el punto de regulaciones para emisiones atmosféricas, se deberá realizar una solicitud de compensación de emisiones de fuentes fijas al SESMA. Esta solicitud permitirá instalar la planta dentro de la Región Metropolitana y establece que las emisiones de nuevas fuentes fijas deben ser compensadas con la reducción de emisiones de fuentes ya establecidas. De acuerdo a lo establecido por la letra k del artículo 3 de la ley 19.300, el proyecto no se ve afectado por el

SEIA, por lo que no debe someterse a un estudio de impacto ambiental, sin embargo, se recomienda presentar voluntariamente una declaración de impacto ambiental a objeto de definir si es pertinente o no entrar al SEIA voluntariamente. Más detalles de este tema en el **Anexo N° III**. Además, y pensando en minimizar el impacto ambiental producto de la instalación de la planta, se pueden tomar diversas medidas que contribuyan a reducir las emisiones contaminantes, tales como:

2. Uso constante de la caldera y el horno rotatorio, ya que la puesta en marcha de éstos significa una mayor cantidad de gases contaminantes.
3. Utilización de un lavador de gases. Equipo que permitirá reducir los niveles de contaminación ya que permite captar gases contaminantes como  $CO_2$ ,  $H_2S$  y  $SO_2$  (producto de la quema de hidrocarburos), entre otros.
4. El lavador de gases es un equipo donde se pre – humedecen los gases a la entrada y pasan por una cortina de agua. Posteriormente los gases limpios ascienden y salen a la atmósfera. El agua utilizada arrastra los sólidos separados y puede ser enviada a una laguna de sedimentación donde se separan de los sólidos para reutilizar el agua y ahorrar de esta manera este líquido. Se recomienda la habilitación de un lugar seguro para residuos sólidos y líquidos.
5. Buscar nuevas alternativas de inversión para reducir emisiones, tales como extractores, filtros de mangas, o alguna otra tecnología adecuada para el proyecto.
6. Utilizar quemador a gas para el horno rotatorio, combustible menos contaminante que el fuel oil N° 6. Sin embargo existe la desventaja de un mayor precio y la incertidumbre de suministro ante los problemas de abastecimiento desde Argentina. Por lo mismo, se recomienda evaluar el uso de otros tipos de combustibles.



## 6.8 Selección de Materia Prima

### 6.8.1 Propiedades Físico – Químicas Materia Prima

La selección de la materia prima a partir de la cual se obtendrá Carbón Activado en la planta industrial, se basará en los parámetros determinados en la etapa de investigación, tanto en los factores de Índice de Azul de Metileno como el de Número de Yodo, para determinar la Macro y Mesoporosidad respectivamente.

Los resultados obtenidos de las etapas de investigación, y estandarizadas con los debidos instrumentos estadísticos se dan a conocer a continuación para validar las excelentes propiedades adsorbentes del Carbón de Cáscaras de Nueces, activado por vía física con vapor de agua.

#### 1. Metodología Aplicada

En el **Anexo II**, se pueden encontrar detallados los procedimientos analíticos. El resultado de las Investigaciones muestra índices de similares en azul de metileno como de yodo, esto nos sugiere que el carbón posee propiedades similares en la distribución porosa entre los carbones. Los porcentajes de Humedad, de Cenizas y Resistencia Mecánica por parte del Carbón producido dan muestras de las características adecuadas del precursor para las tareas de recuperación de oro en la industria minera. Los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 6.2 – 6.4**, y en las **Figuras 6.7 – 6.10**.

**Tabla 6.2 – Características Físicas de Carbón Activo de Cáscaras de Nueces (CACN) y Coco (CACC).**

| Precursor                               | Características Físicas |        |
|---|-------------------------|--------|
|   | * CACN                  | * CACC |
| Tipo Activación                         | Física                  | Física |
| Microporos                              | 81,5 %                  | 95%    |
| Macroporos                              | 18,5 %                  | 15,5%  |
| Dureza                                  | Alta                    | Alta   |
| Regeneración                            | Alta                    | Alta   |
| Densidad Aparente                       | 0,55                    | 0,55   |
| Eficiencia Activación con Vapor de Agua | 91-95%                  | 95%    |
| Numero de Yodo (mg I2/g)                | 1200                    | 1100   |
| Índice de Azul de Metileno (mg/g)       | 11                      | 10     |
| Carbón Activo Cáscaras de Nuez          | CACN                    |        |
| Carbón Activo de Cáscaras de Coco       | CACC                    |        |

\* Datos Experimentales (Ver Anexo 2)

**Tabla 6.3 – Análisis Químico Cáscaras de Nueces (base seca).**

| Elemental* (%peso) |         |        |
|--------------------|---------|--------|
| Carbono            | C       | 50,40% |
| Hidrógeno          | H       | 6,88%  |
| Oxígeno            | O       | 40,72% |
| Azufre             | S       | 2,00%  |
| Compuesto* (%peso) |         |        |
| Lignina            | C9H12O  | 24,37% |
| Hemicelulosa       | C5H10O5 | 37,73% |
| Celulosa           | C6H10O5 | 35,90% |
| Azufre             | S       | 2,00%  |

\* Datos Experimentales (Ver Anexo 2): Base Seca.

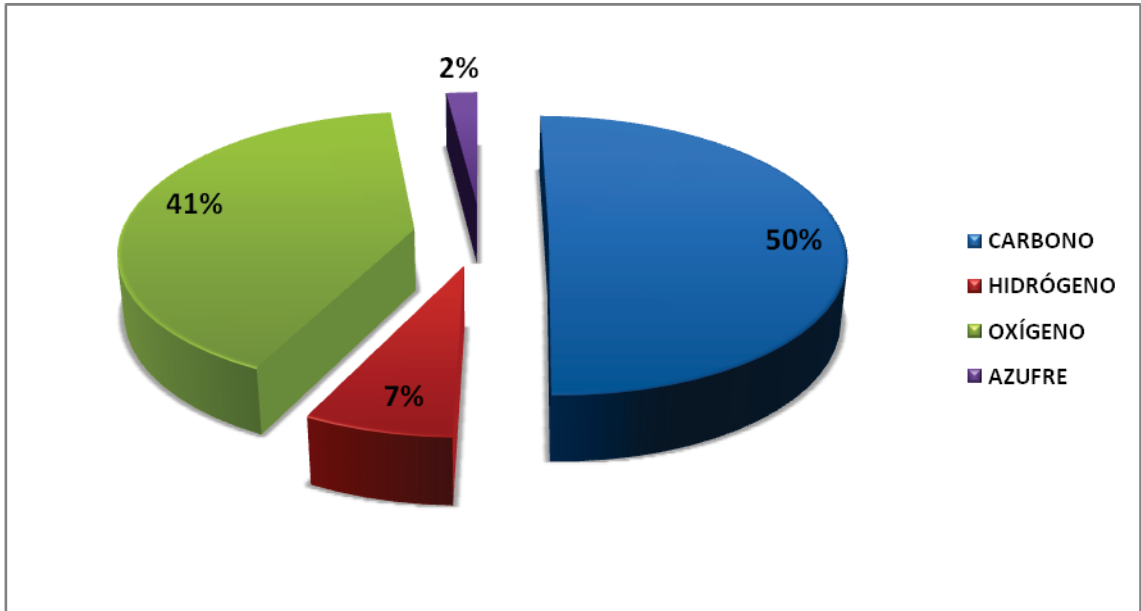


Figura 6.7 – (% peso) Cáscaras de Nueces.

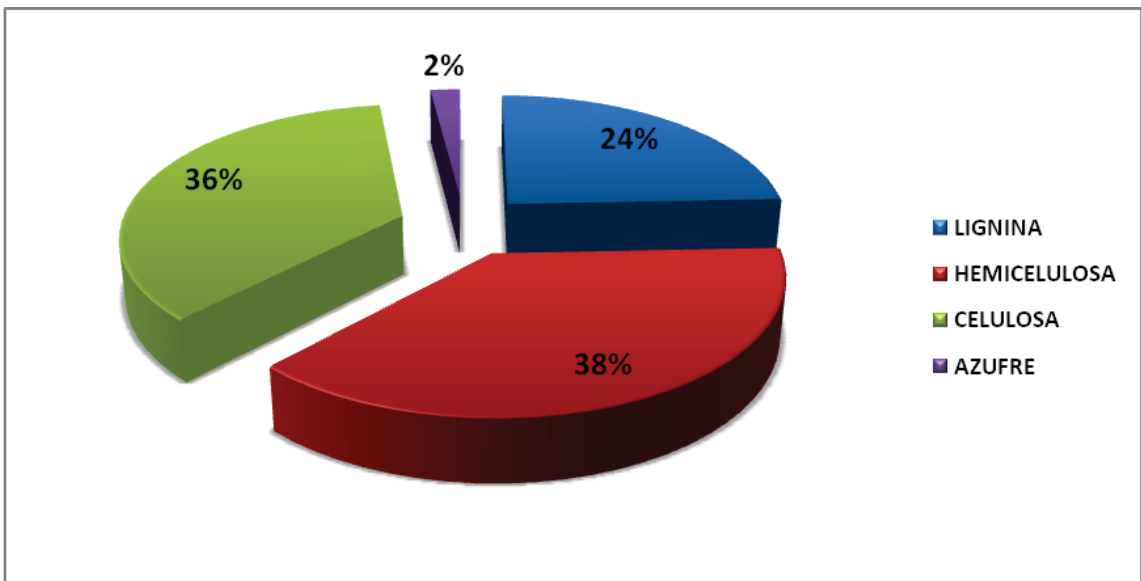


Figura 6.8 – (% peso) Cáscaras de Nueces Pirolisis.

**Tabla 6.4** – Análisis Químicos Producto Pirolisis Cáscaras de Nueces (base seca).

| Elemental* (%peso)  |                               |        |
|---------------------|-------------------------------|--------|
| Carbono             | C                             | 30,97% |
| Hidrógeno           | H                             | 9,58%  |
| Oxígeno             | O                             | 56,67% |
| Azufre              | S                             | 2,78%  |
| Compuesto* (%peso)  |                               |        |
| CARBÓN NATURAL      | C                             | 28,15% |
| AGUA                | H <sub>2</sub> O              | 26,41% |
| ALQUITRÁN           | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> | 9,52%  |
| DIÓXIDO DE CARBONO  | CO <sub>2</sub>               | 11,90% |
| MONÓXIDO DE CARBONO | CO                            | 11,54% |
| METANO              | CH <sub>4</sub>               | 4,05%  |
| DIÓXIDO DE ASUFRE   | SO <sub>2</sub>               | 4,00%  |
| ETILENO             | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | 2,61%  |
| HIDRÓGENO           | H <sub>2</sub>                | 1,83%  |

\* Datos Experimentales (Ver Anexo 2): Base Seca.

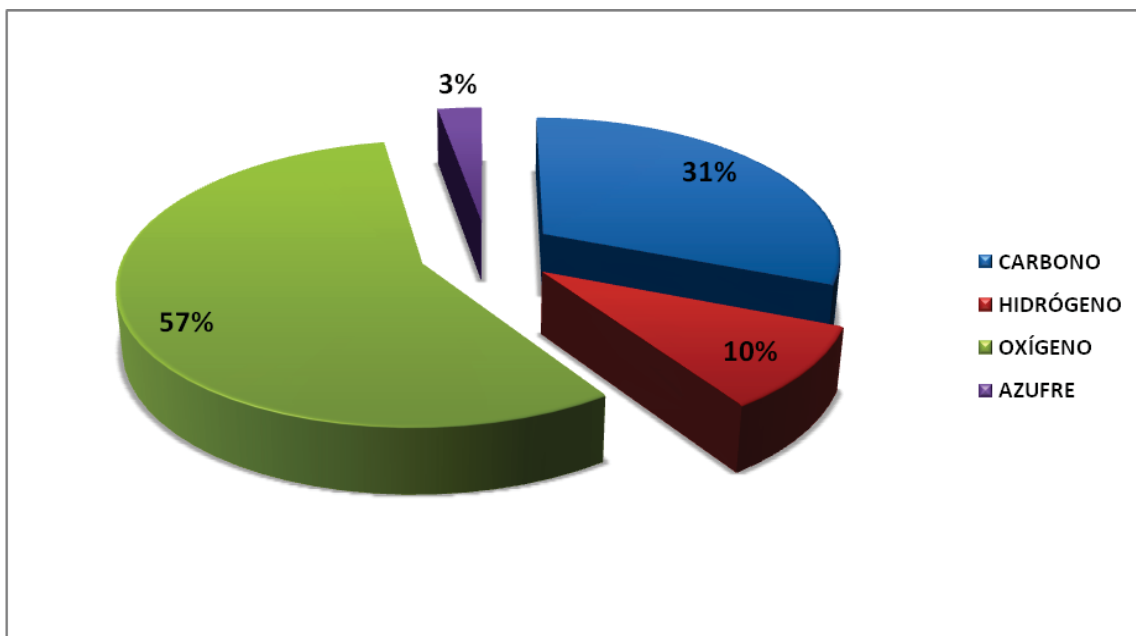


Figura 6.9 – (% peso) Productos de Pirolisis o Carbón Natural de Cáscaras de Nueces.

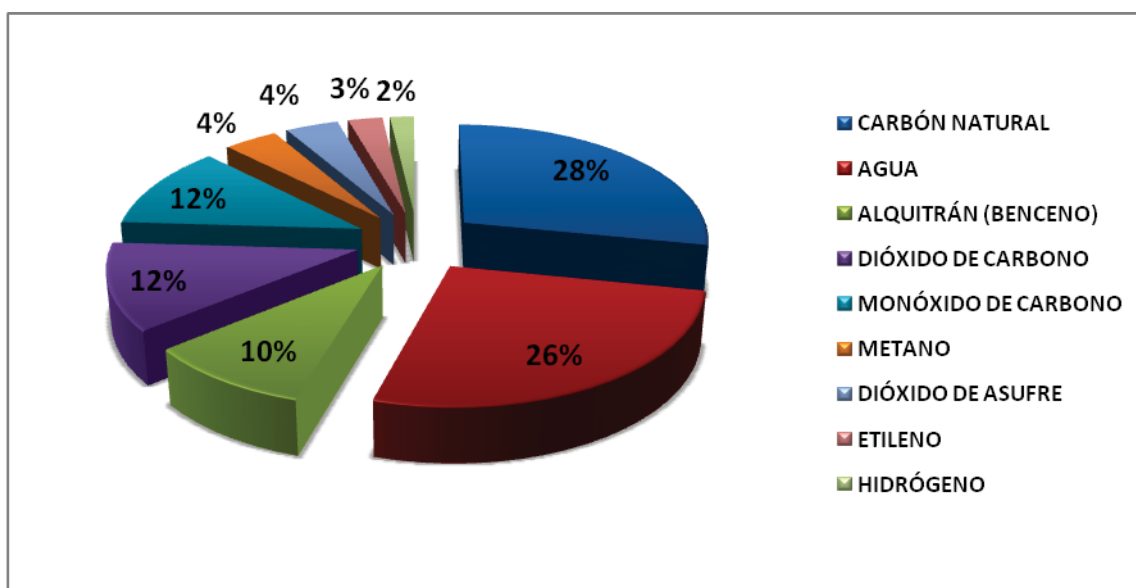


Figura 6.10 – (% peso) Productos de Pirolisis o Carbón Natural de Cáscaras de Nueces.

## 6.8.2 Resultados Activación Física Cáscaras de Nueces

**Tabla 6.5** – Análisis de Cáscaras de Nueces, Relación de Cáscara v/s Fruto Interno.

| ESTUDIO                            | TIPO           | RESULTADO |
|------------------------------------|----------------|-----------|
| RELACIÓN EN MASA (Cáscara / Fruto) | Nuez Comercial | 1 : 1     |

\* Datos Experimentales (Ver Anexo 2)

**Tabla 6.6** – Análisis Pirolisis de Cáscaras de Nueces.

| ESTUDIO                  | TIPO | RESULTADO |
|--------------------------|------|-----------|
| EFICIENCIA CARBONIZACIÓN | CNP  | 29 - 30%  |
|                          | CNG  | 27 - 30%  |
| HUMEDAD                  | CNP  | 4 - 5%    |
|                          | CNG  | 5 - 6%    |

\* Datos Experimentales (Ver Anexo 2)

**Tabla 6.7** – Análisis Carbón Natural de Cáscaras de Nueces.

| CARBÓN NATURAL | TEMPERATURA    | NÚMERO DE YODO |
|----------------|----------------|----------------|
| CNP            | (350 - 450 °C) | 1.166          |
| CNG            |                | 829            |
| CNP            | (350 - 450 °C) | 489            |
| CNG            |                | 482            |

\* Datos Experimentales (Ver Anexo 2)

**Tabla 6.8 – Análisis Carbón Activado Con (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>).**

| <b>ESTUDIO</b>                  | <b>TIPO</b> | <b>RESULTADO</b> |
|---------------------------------|-------------|------------------|
| <b>EFICIENCIA CARBONIZACIÓN</b> | CAP         | 36,96%           |
|                                 | CAG         | 33,22%           |
| <b>HUMEDAD</b>                  | CAP         | 4,41%            |
|                                 | CAG         | 5,17%            |

\* Datos Experimentales (Ver Anexo 2)

**Tabla 6.9 – Análisis Carbón Activado Con (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>).**

| <b>CARBÓN NATURAL</b> | <b>TEMPERATURA</b> | <b>NÚMERO DE YODO</b> |
|-----------------------|--------------------|-----------------------|
| <b>CAP</b>            | (300 - 350 °C)     | 1.911                 |
| <b>CAG</b>            |                    | 1.279                 |
| <b>CAP</b>            | (350 - 450 °C)     | 794                   |
| <b>CAG</b>            |                    | 771                   |

\* Datos Experimentales (Ver Anexo 2)

**Tabla 6.10 – Análisis Carbón Activado Con Vapor de Agua.**

| <b>CARBÓN ACTIVO</b> | <b>TEMPERATURA</b> | <b>NÚMERO DE YODO</b> |
|----------------------|--------------------|-----------------------|
| <b>CAP</b>           | (750 - 850 °C)     | 1.566                 |
| <b>CAG</b>           |                    | 937                   |
| <b>CAP</b>           | (750 - 850 °C)     | 858                   |
| <b>CAG</b>           |                    | 725                   |

\* Datos Experimentales (Ver Anexo 2)



**Tabla 6.11 – Análisis Carbón Activado Con Vapor de Agua.**

| <b>ESTUDIO</b>               | <b>TIPO</b> | <b>RESULTADO</b> |
|------------------------------|-------------|------------------|
| <b>EFICIENCIA ACTIVACIÓN</b> | CAP         | 91 - 94%         |
|                              | CAG         | 92 - 95%         |

\* Datos Experimentales (Ver Anexo 2)



### 6.8.3 Resultados experimentales Mini Columna de Adsorción

Se ha correlacionado la cinética experimental de adsorción de aurocianuro sobre carbón activo de cáscaras de nueces y se ha comparado con la cinética existente para el carbón de cáscaras de coco ocupado para las tareas de extracción en la minería. Con estos parámetros más las experiencias desarrolladas a escala de laboratorio para determinar la capacidad de adsorción del carbón obtenido de soluciones sintéticas de aurocianuro, comparadas en relación al Carbón Activado de Cáscaras de Coco que se utiliza actualmente en los procesos de extracción de oro. Los resultados obtenidos de las pruebas de adsorción de aurocianuro en carbón activo de cáscaras de nueces han establecido similitudes en la correlación de la cinética de la adsorción de aurocianuro en carbón comercial y se muestran en las **Tablas 5.12 – 5.17**.

#### 1. Metodología Aplicada

El carbón utilizado en todas las experiencias fue lavado previamente con agua bidestilada y desionizada durante 20 minutos. Luego el carbón fue secado en una mufla durante 6 horas a 60 °C. Posteriormente el carbón fue mantenido en un desecador hasta su utilización.

Se hace pasar un flujo de solución sintética de  $\text{Au}(\text{CN})_2$ , a través de una mini columna empacada con carbón activado de cáscaras de nueces y se compara con la del carbón activado de cáscaras de coco, el cual es el más usado en industria del oro.

Se introdujo el carbón activado al interior de la mini-columna, donde se testeó la solución OFF o Pobre (salida).

**Tabla 6.12 – Carbón Activo en Polvo (CAP) – Ensayo 1.**

| <b>Variable</b>                                       | <b>Magnitud</b> |
|---|-----------------|
| PH Solución   | 10              |
| Temperatura   | 20 °C           |
| [Au] <sup>0</sup> ON (concentración inicial solución) | 2 ppm           |
| [Au] <sup>0</sup> OFF (concentración final solución)  | 0,14 ppm        |
| Tiempo adsorción                                      | 12 h            |
| Recuperación en carbón activo                         | 93,0 %          |

**Tabla 6.13 – Carbón Activo en Polvo (CAP) – Ensayo 2.**

| <b>Variable</b>                                       | <b>Magnitud</b> |
|---|-----------------|
| PH Solución   | 10              |
| Temperatura   | 20 °C           |
| [Au] <sup>0</sup> ON (concentración inicial solución) | 2 ppm           |
| [Au] <sup>0</sup> OFF (concentración final solución)  | 0,12 ppm        |
| Tiempo adsorción                                      | 12 h            |
| Recuperación en carbón activo                         | 94,0 %          |

**Tabla 6.14 – Carbón Activo en Polvo (CAP) – Ensayo 3.**

| <b>Variable</b>                                       | <b>Magnitud</b> |
|---|-----------------|
| PH Solución   | 10              |
| Temperatura   | 20 °C           |
| [Au] <sup>0</sup> ON (concentración inicial solución) | 2 ppm           |
| [Au] <sup>0</sup> OFF (concentración final solución)  | 0,15 ppm        |
| Tiempo adsorción                                      | 12 h            |
| Recuperación en carbón activo                         | 92,5 %          |

**Tabla 6.15 – Carbón Activo Granular (CAG) – Ensayo 1.**

| <b>Variable</b>                                       | <b>Magnitud</b> |
|---|-----------------|
| PH Solución   | 10              |
| Temperatura   | 20 °C           |
| [Au] <sup>0</sup> ON (concentración inicial solución) | 2 ppm           |
| [Au] <sup>0</sup> OFF (concentración final solución)  | 0,23 ppm        |
| Tiempo adsorción                                      | 12 h            |
| Recuperación en carbón activo                         | 88,5 %          |

**Tabla 6.16 – Carbón Activo Granular (CAG) – Ensayo 2.**

| <b>Variable</b>                                       | <b>Magnitud</b> |
|---|-----------------|
| PH Solución   | 10              |
| Temperatura   | 20 °C           |
| [Au] <sup>0</sup> ON (concentración inicial solución) | 2 ppm           |
| [Au] <sup>0</sup> OFF (concentración final solución)  | 0,19 ppm        |
| Tiempo adsorción                                      | 12 h            |
| Recuperación en carbón activo                         | 90,5 %          |

**Tabla 6.17 – Carbón Activo Granular (CAG) – Ensayo 3.**

| <b>Variable</b>                                       | <b>Magnitud</b> |
|---|-----------------|
| PH Solución   | 10              |
| Temperatura   | 20 °C           |
| [Au] <sup>0</sup> ON (concentración inicial solución) | 2 ppm           |
| [Au] <sup>0</sup> OFF (concentración final solución)  | 0,21 ppm        |
| Tiempo adsorción                                      | 12 h            |
| Recuperación en carbón activo                         | 89,5 %          |

Para una mayor apreciación de los resultados obtenidos desde laboratorio y los procedimientos efectuados para determinar cada parámetro del estudio científico, se recomienda leer el **Anexo II**, el cual detalla las metodologías aplicadas y resultados generales obtenidos de cada experiencia desarrollada en el laboratorio.

## 6.9 Resumen Capítulo VI

En el presente capítulo se determinó el método de producción propio, en base a argumentos a portados por diferentes patentes, literatura, comentarios de revistas y sitios web especializados, entregando un proceso propio, visto de una forma general, como idea conceptual de producción, este proceso propio está acorde con las características buscadas en nuestro producto principal. En el capítulo VII, el proceso conceptual se transforma en un diseño de procesos cuantitativo, donde se determinan de manera paralela y simultánea el balance de materia y energía del proceso productivo, entregando el diseño de Flowsheet final, equipos principales, secundarios y piping, necesarios para el proceso.

## 6.10 Bibliografía

1. Gómez, Alexander. Klose, Wolfgang. Rincón, Sonia. 2008. **Pirólisis de Biomasa**. Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica. Facultad de Ingeniería. Universidad nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. – Facultad de Ingeniería Térmica. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad de Kassel. Kassel, Alemania.
2. Valencia, Marco. Háder Vladimir Martínez. Farid Chejne y Javier Cruz. **Producción y caracterización de partículas y Fibras Cortas de B-SiC, Obtenidas a Partir de Cáscaras de Arroz**. 2005. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia)
3. A. Marcos J. Gañán J.F. González, J. Turégano, A. Miranda, S. Correira. **Aprovechamiento Energético Mediante Procesos de Gasificación con Aire de Residuos Biomásicos**. Escuela de Ingenierías Industriales de Badajoz. Universidad de Extremadura (España). Escola Superior de Tecnologia e Gestao de Portalegre. Área de Engenharia (Portugal). Departamento de Engenharia Electromecânica. Universidade da Beira Interior. Portugal.
4. Alberto J. Tsamba. Weihong Yang. Wlodzimierz Blasiak. 2005. **Pyrolysis characteristics and global kinetics of coconut and cashew nut shells**. Royal Institute of Technology, School of Industrial Engineering and Management, Department of Materials Science and Engineering, Division of Energy and Furnace Technology; Brinellvägen 23, SE-100 44, Stockholm, Sweden.
5. Departamento de Ingeniería Metalúrgica: **Apuntes de Hidrometalurgia**. Universidad de Atacama, Atacama, Chile.

6. Francisco Soto paredes. 2007. **Evaluación Técnico Económica de Una Planta de carbón Activo.** Universidad de Chile, Departamento de Ciencias Físicas y matemáticas, Departamento de Ingeniería Industrial. Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil Industrial. Santiago, Chile.

7. Arturo Rivera Ortiz, Rosa María Ramírez Zamora, Alfonso Durán Moreno. **Pruebas RSSCT con Mini – Columnas de carbón Activado Para Remover Materia orgánica natural (MON) Presente en Agua Naturales.** Instituto de Ingeniería, UNAM, Apdo. Postal 70-472 Coyoacán, 04510 México, D.F.

***CAPÍTULO VII***  
***- Balances de Materia y Energía -***



## 7.1 Introducción

Como se desprendió del estudio de mercado, el mercado del carbón activado en Chile ha alcanzado las 1.800 toneladas anuales en los últimos 4 años, donde las importaciones representan cerca del 70% presentando un crecimiento entre un 5% y un 8% anual mostrando una tendencia creciente, excepto el año 2005, superando las 1.200 toneladas anuales. Además, el nivel de importaciones de Latinoamérica supera las 20.000 toneladas para el año 2005, donde los principales consumidores de este producto son México, Argentina, Brasil, Chile, Perú y Venezuela, quienes en conjunto alcanzan un volumen cercano a 18.000 toneladas para ese mismo año, representando un 88% del total de importaciones de la región. La razón por la que se puede explicar que el nivel de importaciones sea cercano al 70% del consumo interno del país puede explicarse por 2 factores: principalmente debido a que en Chile existe solo una empresa que posee una planta cuya capacidad es de 500 toneladas anuales, por lo que el resto del carbón debe ser importado. La **Tabla 7.1** adjunta muestra una producción proyectada, en base a una tasa de crecimiento anual del 2,7%.

| TASA        | TON/AÑO | AÑO    |
|-------------|---------|--------|
| 2,7 % Anual | 1.350   | Año 1  |
|             | 1.386   | Año 2  |
|             | 1.424   | Año 3  |
|             | 1.462   | Año 4  |
|             | 1.502   | Año 5  |
|             | 1.542   | Año 6  |
|             | 1.584   | Año 7  |
|             | 1.627   | Año 8  |
|             | 1.671   | Año 9  |
|             | 1.716   | Año 10 |

**Tabla 7.1 – Producción de la Planta Proyectada en 10 años (Base Seca).**

## 7.2 Dimensión de la Planta

### 7.2.1. Capacidad Instalada de la Planta

Sobre la base de los datos mostrados en el estudio de mercado que hacen referencia a los niveles de importación y producción en Chile y los niveles de importación a nivel latinoamericano, los cuales llegan a las 20.000 toneladas el año 2005, y además sobre la base de que en la región existen varias plantas cuyas capacidades fluctúan entre las 500 y las 1.200 toneladas anuales se ha establecido considerar una capacidad para la planta de 1.716 toneladas al décimo año, lo que representaría aproximadamente el 6,0% del mercado del carbón activado actual de la región, considerando los principales países: México, Brasil, Argentina, Venezuela, Perú y Chile. La producción inicial de la planta será de 1.350 toneladas para el primer año de operación, como se muestra en la **Tabla 7.2**.

|  |                 |
|--|-----------------|
| Mercado de CA a Chile, año 2007            | 1.800 (Ton/Año) |
| Porcentaje a Suplir Primer Año de Proyecto | 75,0%           |
| Producción Inicial de CA, año 1            | 1.350 (Ton/Año) |
| Producción Final de CA, año 10             | 1.716 (Ton/Año) |
| Tasa Crecimiento Anual                     | 2,7%            |

**Tabla 7.2 – Volumen de la Planta, en consideración al Mercado Actual de Importaciones de CA a Chile.**

La planta de Carbón Activado podrá producir inicialmente aproximadamente cerca de 1.350 (Ton/Año), en base seca, donde este tendrá un formato aplicable a los dos mercados vistos anteriormente en el **Capítulo 3**, los cuales son el de Metalurgia del Oro y de Bebidas, Cerveza y Jugos, los cuales

contemplan en sus procesos particulares un Carbón Activado Granular (CAG) con excelentes propiedades adsorbentes. La producción de este Carbón Activado, se efectuará en base a Cáscaras de Nueces, las cuales presentan características superiores con respecto a otros precursores utilizados en la industria del rubro.

La planta de Carbón Activo se proyecta a 10 años como se señaló anteriormente, donde la producción final en el año 10 de faena, será de 1.716 (Ton/Año) la cual se deja finalmente en 1.800 (Ton/año) en base seca, en retrospectiva entonces la cantidad inicial se recalcula en 1.407 (Ton/año) en base seca. Esta situación marca una situación límite para la capacidad productiva de la planta, por esto la planta será diseñada en base a esta producción final. Tomando en cuenta esta situación límite, la producción para cualquier producción inferior o igual a 1.800 (Ton/Año) será factible de producir sin inconvenientes desde el punto de vista de la capacidad máxima de la planta. La **Tabla 7.3**, muestra la evolución de la compra de cáscaras de nueces en base a una tasa de crecimiento conservadora del 2,7%.

| <b>Año</b> | <b>Tasa Crecimiento</b> | <b>CA (Ton/Año)</b> | <b>CN (Ton/Año)</b> | <b>CNN (Ton/Año)</b> |
|------------|-------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| 1          | 2,7%                    | 1.407               | 1.551               | 5.510                |
| 2          | 2,7%                    | 1.446               | 1.594               | 5.663                |
| 3          | 2,7%                    | 1.486               | 1.638               | 5.820                |
| 4          | 2,7%                    | 1.527               | 1.684               | 5.982                |
| 5          | 2,7%                    | 1.570               | 1.731               | 6.148                |
| 6          | 2,7%                    | 1.613               | 1.779               | 6.318                |
| 7          | 2,7%                    | 1.658               | 1.828               | 6.494                |
| 8          | 2,7%                    | 1.704               | 1.879               | 6.674                |
| 9          | 2,7%                    | 1.751               | 1.931               | 6.859                |
| 10         | 2,7%                    | 1.800               | 1.984               | 7.049                |

**Tabla 7.3 – Volumen Final de la Planta de Producción de Carbón Activo de Cáscaras de Nueces.**

\* CA: Carbón Activo Seco Obtenido.

\*\* CN: Carbón Natural Seco Obtenido.

\*\* CNN: Cáscaras de Nueces Seco Compradas.

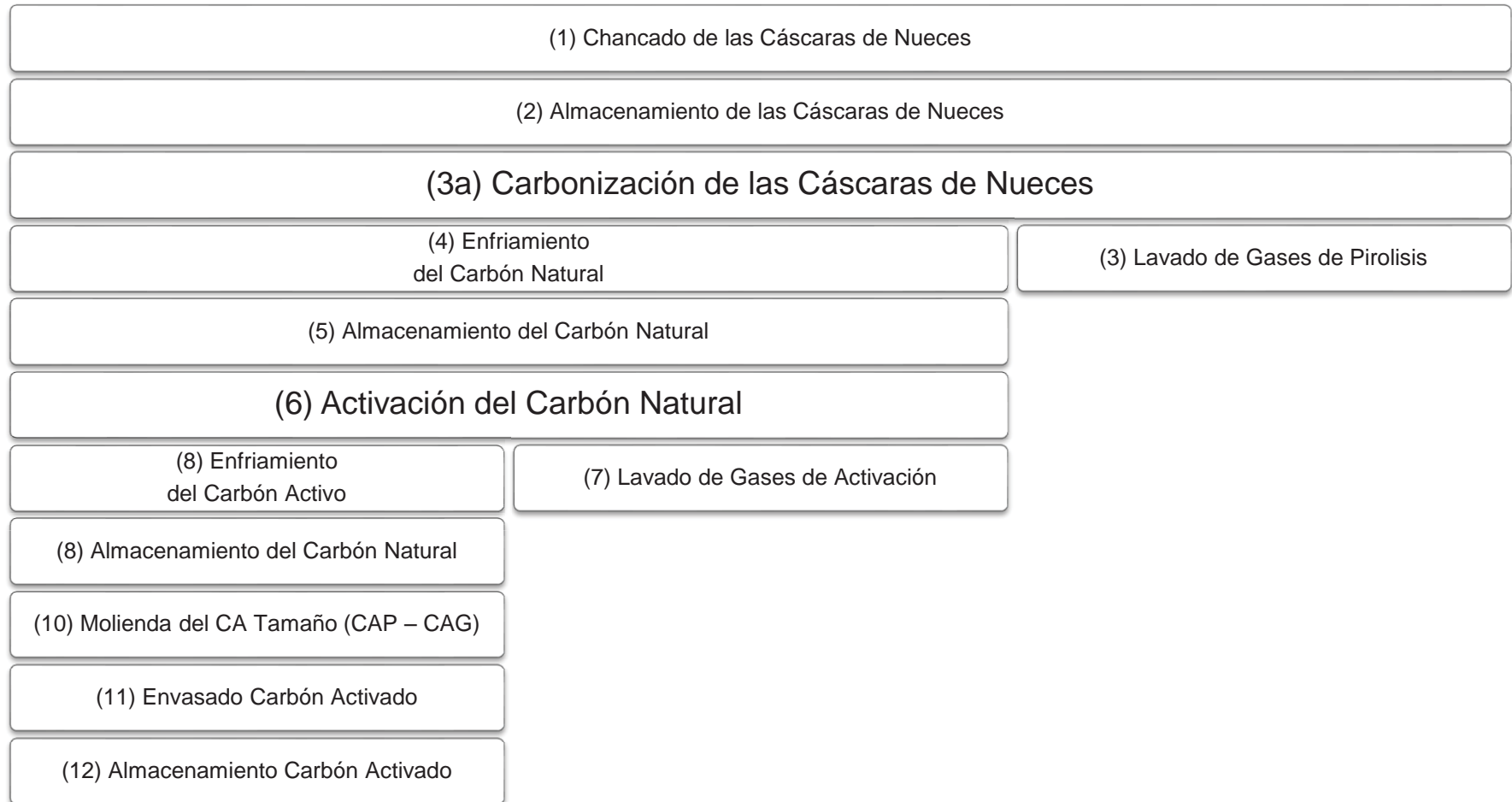
## 7.3 Diagrama Básico del Proceso

El proceso de Activación Física contempla varias etapas y entre las más importantes se encuentran: Chancado, Carbonización, Activación y Molienda, el proceso descrito en el **Capítulo 6**, muestra un diseño basado en patentes publicadas y en base a estudios acabados acerca de procesos utilizados para activar físicamente carbones provenientes de distintos tipos de precursores (biomasa).

La materia prima pasará por una etapa de triturado, pirolisis, activación y molienda para obtener un Carbón Activado en formato granular y polvo. Las pruebas hechas en laboratorio nos indican que el proceso básico seleccionado cumplirá con los requerimientos a nivel industrial y las especificaciones técnicas del en el CA producido. En esta sección encontraremos las definiciones del proceso general, actualizando datos técnicos utilizados para los cálculos de materia y energía de cada etapa y verificando las etapas de manera cualitativa en base a las patentes y bibliografía utilizada.

Se determinarán Volúmenes, Balances de Materia y Energía. Se presenta un resumen de las Operaciones Unitarias: Principales y Auxiliares, también un resumen acerca de las etapas de Recolección, Almacenamiento (Materia Prima, CCN y CAG), Empaque y Distribución del producto final. A continuación se muestra en las **Figuras 7.1 – 7.3**, el proceso definitivo de la planta, el cual a modo cualitativo considera las principales etapas:

Etapas Básicas del Proceso de Activación Física de las Cáscaras de Nueces:



**Figura 7.1 – Jerarquía de Producción de Carbón Activado Físicamente.**



## Diagrama de Flujo del Proceso: Etapa de Pirolysis

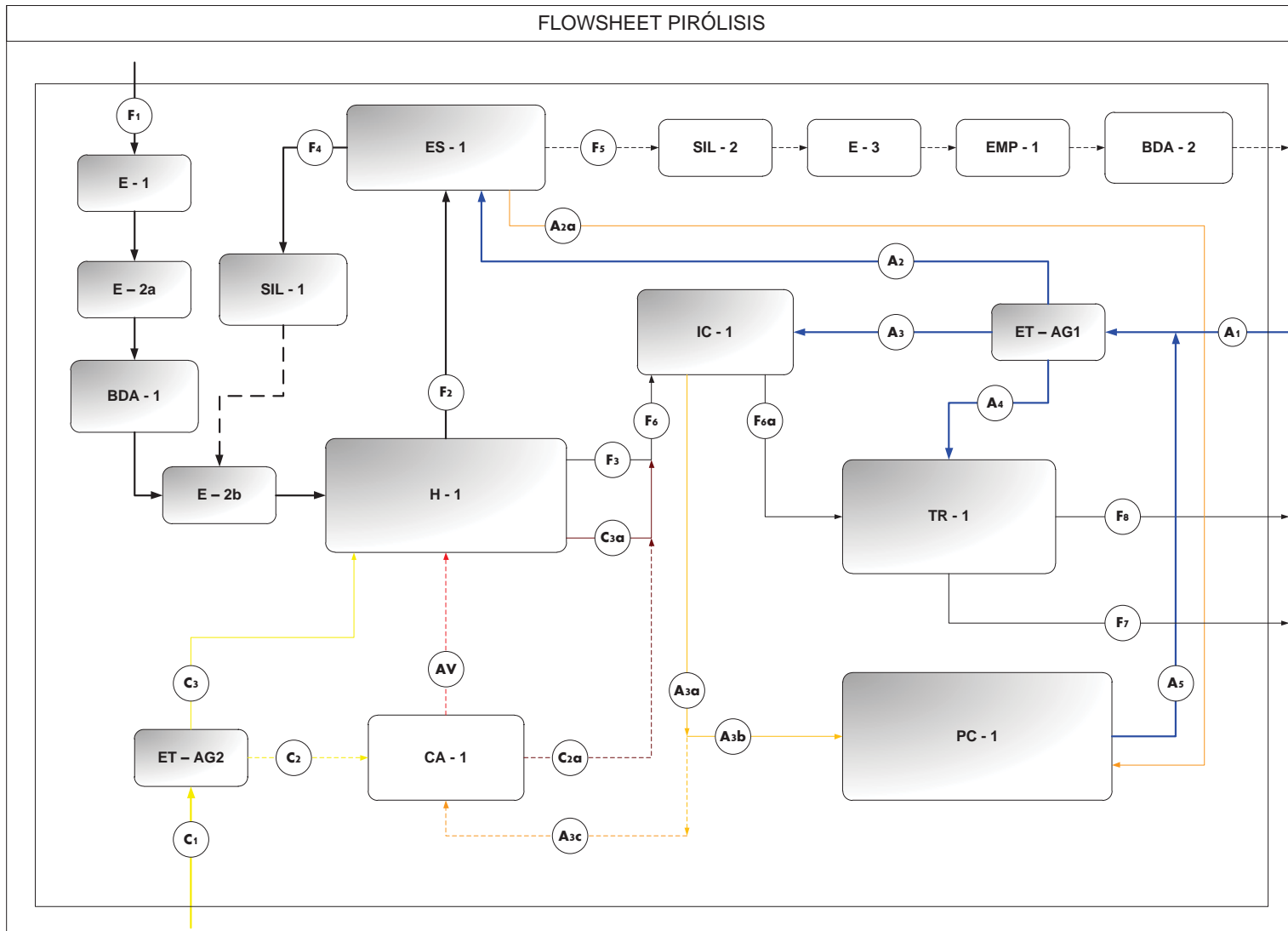


Figura 7.2 – Etapa de Pirolysis Producción de Carbón Activado Físicamente.

| CÓDIGO   | LÍNEAS PROCESO DE PIRÓLISIS  |
|----------|--|
| $F_1$    | Entrada Cáscaras de Nueces Horno Rotatorio (25 °C)                 |
| $F_2$    | Salida Carbón Natural Horno Rotatorio (500 °C)                     |
| $F_3$    | Salida Gases Pirolisis (500 °C)                                    |
| $F_4$    | Salida Carbón Natural Enfriador (25 °C)                            |
| $F_6$    | Entrada Gases Inter. Calor (500 °C)                                |
| $F_{6a}$ | Salida Gases Inter. Calor / Entrada Gases Torre Absorción (120 °C) |
| $F_7$    | Salida Gases Torre de Absorción / Entrada Gases Adsorbedor (80 °C) |
| $F_8$    | Salida Líquido Torre de Absorción (50 °C)                          |
| $A_1$    | Entrada Agua Alimentación Estanque AG1 (15 °C)                     |
| $A_2$    | Entrada Agua Enfriador (15 °C)                                     |
| $A_{2a}$ | Salida Agua Enfriador / Entrada Pozo Colector (50 °C)              |
| $A_3$    | Entrada Agua Inter. Calor (15 °C)                                  |
| $A_{3a}$ | Salida Agua Inter. Calor (50 °C)                                   |
| $A_{3b}$ | Entrada Agua Pozo Colector (50 °C)                                 |
| $A_{3c}$ | Entrada Agua Estanque AG2 / Alimentación Agua Caldera (50 °C)      |
| $A_4$    | Entrada Agua Torre de Absorción (15 °C)                            |
| $A_5$    | Retorno Agua Alimentación Agua (15 °C)                             |
| $C_1$    | Entrada Combustible Alimentación (25 °C)                           |
| $C_3$    | Entrada Combustible a Horno Rotatorio (25 °C)                      |
| $C_{3a}$ | Salida Gases Combustión de Horno Rotatorio (500 °C)                |

Tabla 7.4 – Líneas de Proceso Etapa de Pirolisis.



## Diagrama de Flujo del Proceso: Etapa de Activación

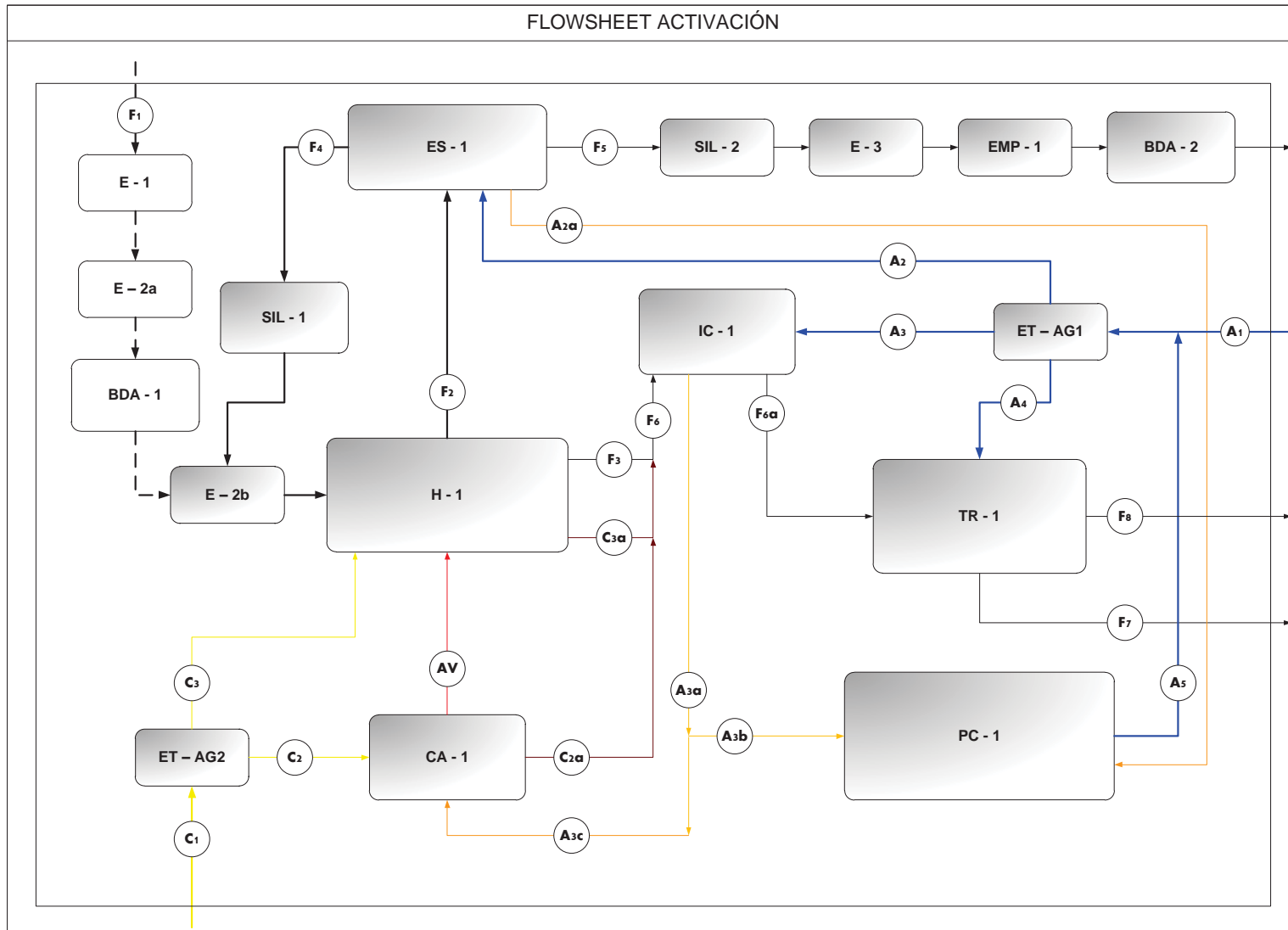


Figura 7.3 – Etapa de Activación Producción de Carbón Activado Físicamente.



| CÓDIGO   | LÍNEAS PROCESO DE ACTIVACIÓN                                       |
|----------|--|
| $F_2$    | Salida Carbón Activado Horno Rotatorio (900 °C)                    |
| $F_3$    | Salida Gases Pirolisis (900 °C)                                    |
| $F_4$    | Entrada Carbón Natural (25 °C)                                     |
| $F_5$    | Salida de Carbón Activado Enfriador (25 °C)                        |
| $F_6$    | Entrada Gases Inter. Calor (900 °C)                                |
| $F_{6a}$ | Salida Gases Inter. Calor / Entrada Gases Torre Absorción (120 °C) |
| $F_7$    | Salida Gases Torre de Absorción / Entrada Gases Adsorbedor (80 °C) |
| $F_8$    | Salida Líquido Torre de Absorción (50 °C)                          |
| $A_1$    | Entrada Agua Alimentación Estanque AG1 (15 °C)                     |
| $A_2$    | Entrada Agua Enfriador (15 °C)                                     |
| $A_{2a}$ | Salida Agua Enfriador / Entrada Pozo Colector (50 °C)              |
| $A_3$    | Entrada Agua Inter. Calor (15 °C)                                  |
| $A_{3a}$ | Salida Agua Inter. Calor (50 °C)                                   |
| $A_{3b}$ | Entrada Agua Pozo Colector (50 °C)                                 |
| $A_{3c}$ | Entrada Agua Estanque AG2 / Alimentación Agua Caldera (50 °C)      |
| $A_4$    | Entrada Agua Torre de Absorción (15 °C)                            |
| $A_5$    | Retorno Agua Alimentación Agua (15 °C)                             |
| $A_V$    | Salida Vapor Caldera / Entrada Vapor Horno Rotatorio (150 °C)      |
| $C_1$    | Entrada Combustible Alimentación (25 °C)                           |
| $C_2$    | Entrada Combustible Caldera (25 °C)                                |
| $C_{2a}$ | Salida Gases Combustión Caldera (900 °C)                           |
| $C_3$    | Entrada Combustible a Horno Rotatorio (25 °C)                      |
| $C_{3a}$ | Salida Gases Combustión de Horno Rotatorio (900 °C)                |

Tabla 7.5 – Líneas de Proceso Etapa de Activación.

| <b>NOMENCLATURA EQUIPOS</b>                    |  |
|--|--|
| <b>CÓDIGO</b>                                  |  |
| <b>EQUIPOS PRINCIPALES</b>                     |  |
| <i>CA</i> – 1                                  | Caldera                                      |
| <i>H</i> – 1                                   | Horno Rotatorio                              |
| <i>IC</i> – 1                                  | Intercambiador de Calor (Condensador)        |
| <i>TR</i> – 1                                  | Torre de Adsorción                           |
| <i>ES</i> – 1                                  | Enfriador Productos Horno Rotatorio          |
| <b>CÓDIGO</b>                                  |  |
| <b>EQUIPOS AUXILIARES</b>                      |  |
| <i>PC</i> – 1                                  | Pozo Colector de Agua Industrial             |
| <i>ET – AG<sub>1</sub></i>                     | Estanque Distribución de Agua Industrial     |
| <i>ET – AG<sub>2</sub></i>                     | Estanque Distribución de Fuel Diesel         |
| <i>E</i> – 1                                   | Chancador Materia Prima                      |
| <i>E – 2a</i>                                  | Dosificador Material a Bodega                |
| <i>E – 2b</i>                                  | Dosificador Material a Horno Rotatorio       |
| <i>E</i> – 3                                   | Molino Carbón Activado                       |
| <i>E</i> – 4                                   | Cargador Frontal                             |
| <i>TT</i> – 4                                  | Transformador Trifásico                      |
| <b>CÓDIGO</b>                                  |  |
| <b>BODEGAS, SILOS Y CORREAS TRASPORTADORAS</b> |  |
| <i>SIL</i> – 1                                 | Silo Almacenamiento Carbón Natural           |
| <i>SIL</i> – 2                                 | Silo Almacenamiento Carbón Activo            |
| <i>EMP</i> – 1                                 | Sala Embalaje Producto Terminado             |
| <i>BDA</i> – 1                                 | Bodega Almacenaje Materia Prima              |
| <i>BDA</i> – 2                                 | Bodega Almacenaje Producto                   |
| <i>CT</i> – 1                                  | Correa Transportadora Materia Prima a Bodega |
| <i>CT</i> – 2                                  | Correa Transportadora Carbón Natural a Silo  |
| <i>CT</i> – 3                                  | Correa Transportadora Carbón Activado a Silo |

**Tabla 7.6 – Nomenclatura Equipos y Estructuras Planta de Proceso.**

| <b>NOMENCLATURA BOMBAS Y VÁLVULAS</b> |                       |
|---------------------------------------|-----------------------|
| <b>CÓDIGO</b>                         | <b>BOMBAS</b>         |
| <i>B1</i>                             | <i>A<sub>2</sub></i>  |
| <i>B2</i>                             | <i>A<sub>3</sub></i>  |
| <i>B3</i>                             | <i>A<sub>4</sub></i>  |
| <i>B4</i>                             | <i>A<sub>5</sub></i>  |
| <i>B5</i>                             | <i>F<sub>8</sub></i>  |
| <b>CÓDIGO</b>                         | <b>VÁLVULAS</b>       |
| <i>V1</i>                             | <i>F<sub>3</sub></i>  |
| <i>V2</i>                             | <i>F<sub>6</sub></i>  |
| <i>V3</i>                             | <i>F<sub>6a</sub></i> |
| <i>V4</i>                             | <i>F<sub>7</sub></i>  |
| <i>V5</i>                             | <i>F<sub>8</sub></i>  |
| <i>V6</i>                             | <i>A<sub>1</sub></i>  |
| <i>V7</i>                             | <i>A<sub>2</sub></i>  |
| <i>V8</i>                             | <i>A<sub>2a</sub></i> |
| <i>V9</i>                             | <i>A<sub>3</sub></i>  |
| <i>V10</i>                            | <i>A<sub>3a</sub></i> |
| <i>V11</i>                            | <i>A<sub>3b</sub></i> |
| <i>V12</i>                            | <i>A<sub>3c</sub></i> |
| <i>V13</i>                            | <i>A<sub>4</sub></i>  |
| <i>V14</i>                            | <i>A<sub>5</sub></i>  |
| <i>V15</i>                            | <i>A<sub>v</sub></i>  |
| <i>V16</i>                            | <i>C<sub>1</sub></i>  |
| <i>V17</i>                            | <i>C<sub>2</sub></i>  |
| <i>V18</i>                            | <i>C<sub>2a</sub></i> |
| <i>V19</i>                            | <i>C<sub>3</sub></i>  |
| <i>V20</i>                            | <i>C<sub>3a</sub></i> |

**Tabla 7.7 – Nomenclatura Bombas y Válvulas Planta de Proceso.**

## 7.4 Balances de Materia

Se necesitaran 7.049 (*Ton/Año*) de Cáscaras de Nueces más un (5,26%) de humedad, para poder obtener 1.800 (*Ton/año*) de Carbón Activado al 10º año de producción más un (4,04%) de humedad, donde es en base a está producción anual, la proyección de: balances de materia y energía, diseño de equipos y evaluación económica. La eficiencia de la carbonización es de (28,15%), y la eficiencia de activación es de (90,71%)

Se proyecta un sistema de trabajo batch, el cual implica un sistema productivo de 6 x 1 y un horario de 24 horas, avalado por tres turnos de proceso durante la semana, dejando el día domingo con posibilidades de producción extra, mantención o arreglos operativos. Se consideran en total 312 días de producción donde se procesaran 7.049 (*Ton/año*) de Cáscaras de Nueces más (5,26%) de humedad, entregando 1.984 (*Ton/Año*) de Carbón Natural más un (5,00%) de humedad y finalmente produciendo 1.800 (*Ton/Año*) de Carbón Activo más (4,04%) de humedad.

Los días de producción de Carbón Natural y de producción de Carbón Activo, se pueden calcular en base a la cantidad total de materia prima usada y de carbón natural obtenido, optimizando el Horno Rotatorio, el cual es el equipo principal y que conlleva la actividad crítica de proceso, donde:

$$- D = d \cdot s \cdot m = 312 \text{ [días/Año]} \quad \text{ecu. 7.1}$$

$$- P_T = P_1 + P_2 = 9.503.970 \text{ [kg/Año]} \quad \text{ecu. 7.2}$$

$$- p = \frac{P_T}{D \cdot 24} \cong 1.270 \text{ [kg/h]} \quad \text{ecu. 7.3}$$

$$- d_1 = D \cdot (P_1/P_T) \cong 244 \text{ [días/Año]} \quad \text{ecu. 7.4}$$

$$- d_2 = D \cdot (P_2/P_T) \cong 68 \text{ [días/Año]} \quad \text{ecu. 7.5}$$

| ITEM  | DEFINICIÓN                                       | CANTIDAD  | UNIDAD     |
|-------|--|-----------|------------|
| $P_1$ | Materia prima pirolisis: Cáscaras de Nueces      | 7.420.411 | [kg/Año]   |
| $P_2$ | Materia prima activación: Carbón Natural         | 2.083.559 | [kg/Año]   |
| $D$   | Días totales de producción                       | 312       | [días/Año] |
| $p$   | Producción Diaria Mínima: Pirolisis - Activación | 1.270     | [kg/h]     |
| $d_1$ | Días de proceso Cáscaras de Nueces               | 244       | [días/Año] |
| $d_2$ | Días de proceso Carbón Natural                   | 68        | [días/Año] |

**Tabla 7.8 – Resumen Dimensiones de Producción de la Planta.**

Existe entonces el parámetro de producción de 1.270 (kg/h) de procesamiento de materia prima tanto cuando se realiza la pirolisis (Cáscaras de Nueces), como cuando se realiza la activación (Carbón Natural). En el año tenemos 244 días para procesar aproximadamente 7.420 (Ton) de Cáscaras de Nueces con (5,26 %) de humedad y 68 días para procesar aproximadamente 2.084 (Ton) de Carbón Natural con (5,00 %) de humedad.

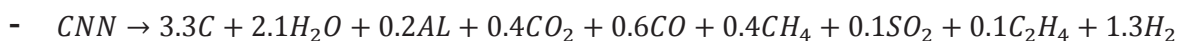
El presente capítulo de base específicamente en balances de materia para la etapa de pirolisis y activación, los datos del cálculo se encuentran en el **Anexo 4**. Según el diagrama de flujo (Flow – Sheet) se supone las etapas antes mencionadas, que involucran los siguientes equipos de proceso:

- **Pirolisis:** Horno Rotatorio, Adsorbedor, Inter. Calor / Condensador y Torre de Absorción. Se considera procesar para el balance de materia aproximadamente 1.270 (kg/h) de Cáscaras de Nueces x 3,56 días x 24 horas.
- **Activación:** Horno Rotatorio, Adsorbedor, Inter. Calor / Condensador y Torre de Absorción. Se considera procesar para el balance de materia aproximadamente 1.270 (kg/h) de Carbón Natural x 1,00 día x 24 horas.

### 7.4.1. Etapa de Pirolisis: Horno Rotatorio

- Reacciones Supuestas: Reacción al 100%. Composición de las corrientes de entrada y salida descritas en el **Capítulo 6**. La reacción de pirolisis es la siguiente en base a un mol de cáscaras de nueces:

ecu. 7.6



| ITEM       | DEFINICIÓN                |
|------------|---------------------------|
| <i>CNN</i> | <i>Cáscaras de Nueces</i> |
| <i>AL</i>  | <i>Alquitrán</i>          |

- Balance de Materia:  $F_1 = F_2 + F_3$  ecu. 7.7

| FLUJO | DEFINICIÓN   |
|-------|--|
| $F_1$ | Entrada Cáscaras de Nueces a Horno Rotatorio (25 °C) |
| $F_2$ | Salida Carbón Natural (500 °C)                       |
| $F_3$ | Salida Gases de Pirolisis (500 °C)                   |

- Suposiciones Adicionales: Entrada de cáscaras sin impurezas ( $N_2$ ,  $Cl$  y *Cenizas*); se genera un 50% en peso de gases condensables y gases no condensables en base seca (**dato experimental**).
- Otros: La pirolisis de biomasa con mayor contenido de lignina en su composición química, el cual es el caso de las Cáscaras de Nueces, tiende a poseer una mejor eficiencia de carbonizado, además la cantidad de nitrógeno y cloro presente en las cáscaras es mínima, lo cual no justifica su inclusión en los balances de materia.

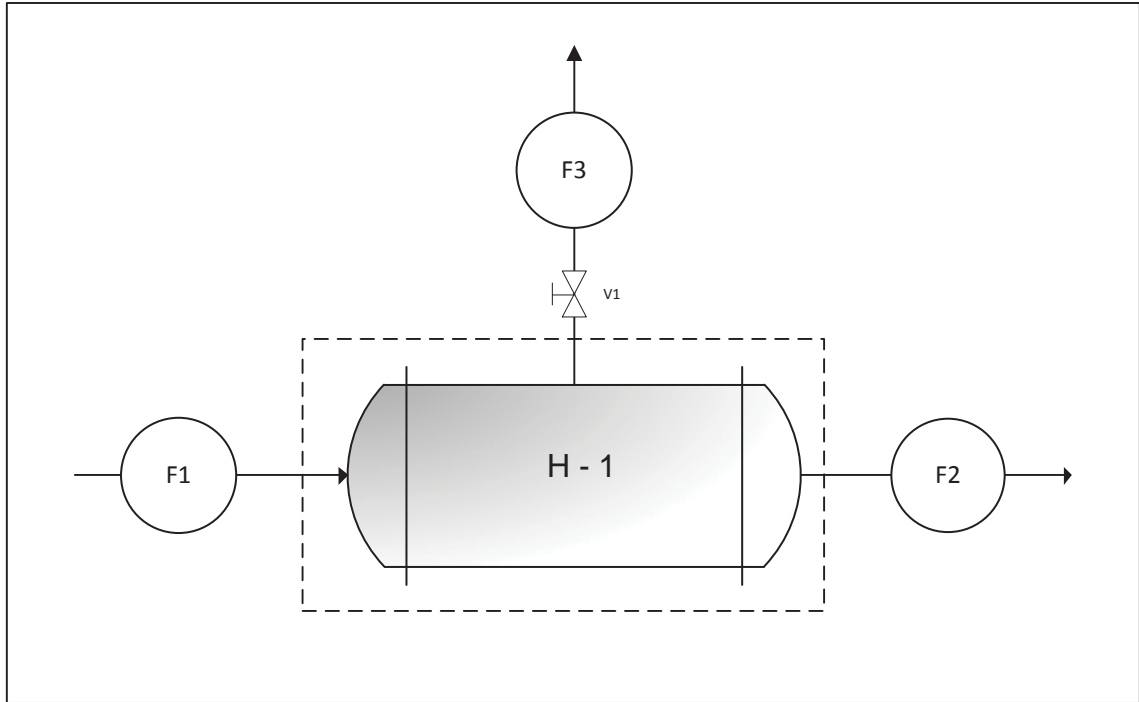


Figura 7.4 – Esquema de Balance de Materia para Horno Rotatorio (*H* – 1).

| <i>Componente</i>  | <i>ENTRADAS</i>                 |                        | <i>SALIDAS</i>                  |                                 | <i>Total</i><br>[kg/h] |
|--|---------------------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------|
|  | <i>F</i> <sub>1</sub><br>[kg/h] | <i>Total</i><br>[kg/h] | <i>F</i> <sub>2</sub><br>[kg/h] | <i>F</i> <sub>3</sub><br>[kg/h] |                        |
| <i>C</i> <sub>9</sub> <i>H</i> <sub>12</sub> <i>O</i>              | 294                             | 294                    |                                 |                                 |                        |
| <i>C</i> <sub>5</sub> <i>H</i> <sub>10</sub> <i>O</i> <sub>5</sub> | 455                             | 455                    |                                 |                                 |                        |
| <i>C</i> <sub>6</sub> <i>H</i> <sub>10</sub> <i>O</i> <sub>5</sub> | 433                             | 433                    |                                 |                                 |                        |
| <i>S</i>   | 24                              | 24                     |                                 |                                 |                        |
| <i>C</i>   |                                 |                        | 340                             |                                 | 340                    |
| <i>CO</i> <sub>2</sub>   |                                 |                        |                                 | 144                             | 144                    |
| <i>CO</i>  |                                 |                        |                                 | 139                             | 139                    |
| <i>CH</i> <sub>4</sub>   |                                 |                        |                                 | 48                              | 48                     |
| <i>SO</i> <sub>2</sub>   |                                 |                        |                                 | 48                              | 48                     |
| <i>C</i> <sub>2</sub> <i>H</i> <sub>4</sub>                        |                                 |                        |                                 | 32                              | 32                     |
| <i>H</i> <sub>2</sub>  |                                 |                        |                                 | 22                              | 22                     |
| <i>H</i> <sub>2</sub> <i>O</i> ( <i>RXN</i> )                      |                                 |                        |                                 | 318                             | 318                    |
| <i>ALQUITRÁN</i>   |                                 |                        |                                 | 115                             | 115                    |
| <i>H</i> <sub>2</sub> <i>O</i> ( <i>HUM</i> )                      | 64                              | 64                     | 17                              | 47                              | 64                     |
| <b><i>Total</i></b>  | <b>1.270</b>                    | <b>1.270</b>           | <b>357</b>                      | <b>913</b>                      | <b>1.270</b>           |

Tabla 7.9 – Balance de Materia para Horno Rotatorio (*H* – 1).

## 7.4.2. Etapa de Pirolisis: Torre Absorción

- Reacciones Supuestas: No hay reacciones.
- Suposiciones Adicionales: Entrada de gases sin impurezas ( $N_2, Cl$  y  $Cenizas$ ); Recirculación para optimizar el flujo de agua de lavado.
- Balance de Materia:  $F_{6a} + A_4 = F_7 + F_8$  ecu. 7.8

| FLUJO    | NOMBRE   |
|----------|--|
| $F_{6a}$ | Salida Gases Inter. Calor / Entrada Gases Torre Absorción (120 °C) |
| $F_7$    | Salida Gases Torre de Absorción / Entrada Gases Adsorbedor (80 °C) |
| $F_8$    | Salida Líquido Torre de Absorción (50 °C)                          |
| $A_4$    | Entrada Agua Torre de Absorción (15 °C)                            |

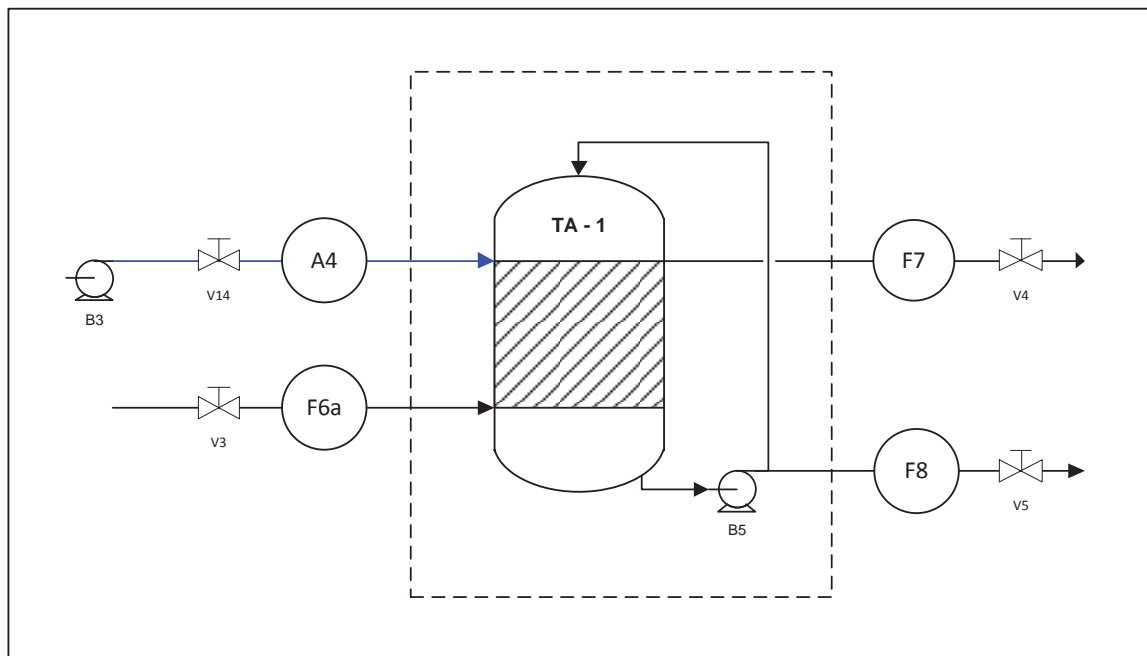


Figura 7.5 – Esquema de Balance de Materia para Torre de Absorción (TR - 1).



| <b>Componente</b>                 | <b>ENTRADAS</b>    |                 | <b>Total</b><br>[kg/h] | <b>SALIDAS</b>  |                 | <b>Total</b><br>[kg/h] |
|-----------------------------------|--------------------|-----------------|------------------------|-----------------|-----------------|------------------------|
|                                   | $F_{6a}$<br>[kg/h] | $A_4$<br>[kg/h] |                        | $F_7$<br>[kg/h] | $F_8$<br>[kg/h] |                        |
| <b>CO<sub>2</sub></b>             | 379                |                 | 379                    |                 | 379             | 379                    |
| <b>CO</b>                         | 139                |                 | 139                    |                 | 139             | 139                    |
| <b>CH<sub>4</sub></b>             | 48                 |                 | 48                     | 48              |                 | 48                     |
| <b>SO<sub>2</sub></b>             | 48                 |                 | 48                     |                 | 48              | 48                     |
| <b>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></b> | 32                 |                 | 32                     | 32              |                 | 32                     |
| <b>H<sub>2</sub></b>              | 22                 |                 | 22                     | 22              |                 | 22                     |
| <b>H<sub>2</sub>O</b>             | 457                | 8.905           | 9.362                  |                 | 9.362           | 9.362                  |
| <b>ALQUITRÁN</b>                  | 115                |                 | 115                    |                 | 115             | 115                    |
| <b>N<sub>2</sub></b>              | 834                |                 | 834                    | 834             |                 | 834                    |
| <b>Total</b>                      | 2.074              | 8.905           | <b>10.979</b>          | 936             | 10.043          | <b>10.979</b>          |

Tabla 7.10 – Balance de Materia para Torre de Absorción (TR – 1).

### 7.4.3. Etapa de Pirolisis: Inter. Calor

- Reacciones Supuestas: No hay reacciones.
- Suposiciones Adicionales: Entrada de gases sin impurezas ( $N_2$ ,  $Cl$  y *Cenizas*).
- Balance de Materia:  $F_6 + A_3 = F_{6a} + A_{3a}$  ecu. 7.9
- Otras Ecuaciones:  $F_6 = F_3 + C_{3a}$  ecu. 7.10

| <b>FLUJO</b> | <b>DEFINICIÓN</b>  |
|--------------|--|
| $F_3$        | Salida Gases Pirolisis (500 °C)                                    |
| $F_6$        | Entrada Gases Inter. Calor (500 °C)                                |
| $F_{6a}$     | Salida Gases Inter. Calor / Entrada Gases Torre Absorción (120 °C) |
| $A_3$        | Entrada Agua Inter. Calor (15 °C)                                  |
| $A_{3a}$     | Salida Agua Inter. Calor (50 °C)                                   |
| $C_{3a}$     | Salida Gases Combustión de Horno Rotatorio (500 °C)                |

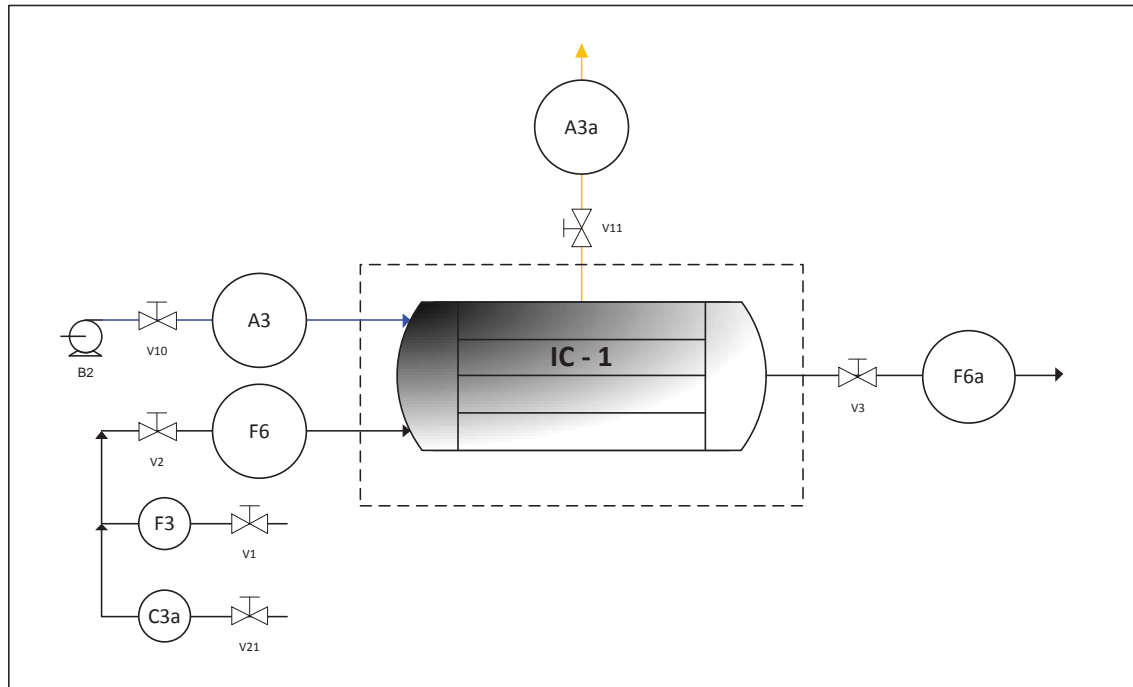


Figura 7.6 – Esquema de Balance de Materia para Inter. De Calor (IC – 1).

| Componente    | ENTRADAS        |                 | Total<br>[kg/h] | SALIDAS            |                    | Total<br>[kg/h] |
|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------|
|               | $F_6$<br>[kg/h] | $A_3$<br>[kg/h] |                 | $F_{6a}$<br>[kg/h] | $A_{3a}$<br>[kg/h] |                 |
| $CO_2$        | 379             |                 | 379             | 379                |                    | 379             |
| $CO$          | 139             |                 | 139             | 139                |                    | 139             |
| $CH_4$        | 48              |                 | 48              | 48                 |                    | 48              |
| $SO_2$        | 48              |                 | 48              | 48                 |                    | 48              |
| $C_2H_4$      | 32              |                 | 32              | 32                 |                    | 32              |
| $H_2$         | 22              |                 | 22              | 22                 |                    | 22              |
| $H_2O$        | 457             |                 | 457             | 457                |                    | 457             |
| ALQUITRÁN     | 115             |                 | 115             | 115                |                    | 115             |
| $N_2$         | 834             |                 | 834             | 834                |                    | 834             |
| $H_2O(Refri)$ |                 | 8.509           | 8.509           |                    | 8.509              | 8.509           |
| <b>Total</b>  | <b>2.074</b>    | <b>8.509</b>    | <b>10.583</b>   | <b>2.074</b>       | <b>8.509</b>       | <b>10.583</b>   |

Tabla 7.11 – Balance de Materia para Inter. De Calor (IC – 1).

| <i>Componente</i>                           | <i>ENTRADAS</i>                 |                                  | <i>Total</i><br>[kg/h] | <i>SALIDAS</i><br><i>F</i> <sub>6</sub><br>[kg/h] | <i>Total</i><br>[kg/h] |
|---|---------------------------------|----------------------------------|------------------------|---|------------------------|
|   | <i>F</i> <sub>3</sub><br>[kg/h] | <i>C</i> <sub>3a</sub><br>[kg/h] |                        |   |                        |
| <i>CO</i> <sub>2</sub>                      | 144                             | 235                              | 379                    | 379   | 379                    |
| <i>CO</i>                                   | 139                             |                                  | 139                    | 139   | 139                    |
| <i>CH</i> <sub>4</sub>                      | 48                              |                                  | 48                     | 48  | 48                     |
| <i>SO</i> <sub>2</sub>                      | 48                              |                                  | 48                     | 48  | 48                     |
| <i>C</i> <sub>2</sub> <i>H</i> <sub>4</sub> | 32                              |                                  | 32                     | 32  | 32                     |
| <i>H</i> <sub>2</sub>                       | 22                              |                                  | 22                     | 22  | 22                     |
| <i>H</i> <sub>2</sub> <i>O</i>              | 365                             | 92                               | 457                    | 457   | 457                    |
| <i>ALQUITRÁN</i>                            | 115                             |                                  | 115                    | 115   | 115                    |
| <i>N</i> <sub>2</sub>                       |                                 | 834                              | 834                    | 834   | 834                    |
| <b><i>Total</i></b>                         | 913                             | 1.161                            | <b>2.074</b>           | 2.074   | <b>2.074</b>           |

Tabla 7.12 – Balance de Materia para Inter. De Calor (IC – 1).

#### 7.4.4. Etapa de Pirolisis: Consumo Combustibles

- Suposiciones: Los productos de combustión de Fuel Diesel se incluyen para el balance global de materia.
- Balance de Materia:  $C_3 + FA = C_{3a}$  ecu. 7.11
- Otras Ecuaciones:  $C_3 = C_1$  ecu. 7.12

| <b>FLUJO</b>           | <b>DEFINICIÓN</b>                                   |
|------------------------|---|
| <i>FA</i>              | Alimentación de Aire a Horno Rotatorio (25 °C)      |
| <i>C</i> <sub>1</sub>  | Entrada Combustible Alimentación (25 °C)            |
| <i>C</i> <sub>3</sub>  | Entrada Combustible a Horno Rotatorio (25 °C)       |
| <i>C</i> <sub>3a</sub> | Salida Gases Combustión de Horno Rotatorio (500 °C) |

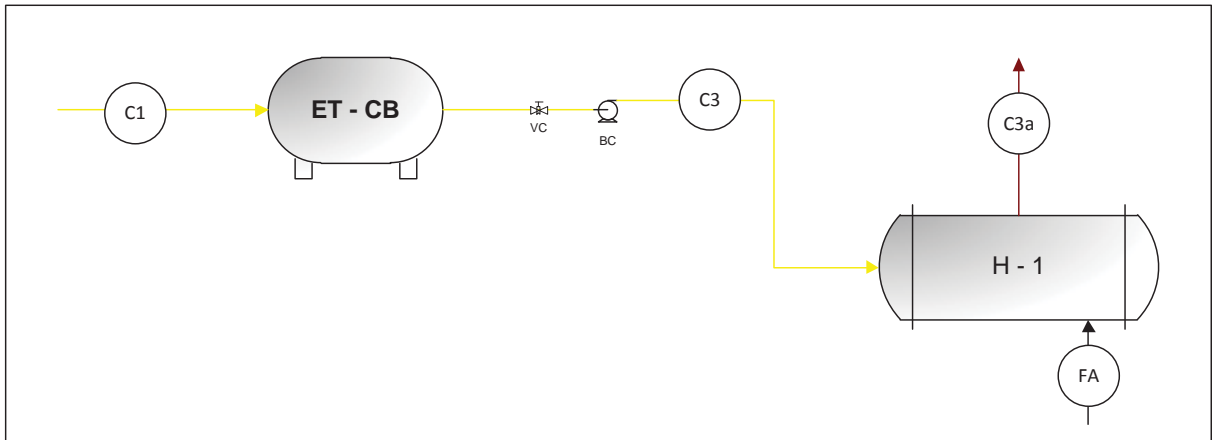


Figura 7.7 – Esquema Balance de Materia de Combustible para Pirolisis (H - 1).

- **Combustible: Fuel Diesel**

- Composición media:  $C_{12}H_{23}$ , no se considera S, N y Cenizas. El flujo de Diesel se incremento en un 20%, dado que se debe contemplar la eficiencia de este en el horno.
- $C_{12}H_{23} (l) + 17.75O_2 (g) \rightarrow 12CO_2 (g) + 11.5H_2O (g)$  (Exotérmica). ecu. 7.13

| <b>Componente</b>     | <b>ENTRADAS</b> |              | <b>Total</b><br>[kg/h] | <b>SALIDAS</b><br>$C_{3a}$<br>[kg/h] | <b>Total</b><br>[kg/h] |
|-----------------------|-----------------|--------------|------------------------|--------------------------------------|------------------------|
|                       | $C_3$<br>[kg/h] | FA<br>[kg/h] |                        |                                      |                        |
| <b>Fuel Diesel</b>    | 74              |              | 74                     |                                      |                        |
| <b>O<sub>2</sub></b>  |                 | 253          | 253                    |                                      |                        |
| <b>N<sub>2</sub></b>  |                 | 834          | 834                    | 834                                  | 834                    |
| <b>CO<sub>2</sub></b> |                 |              |                        | 235                                  | 235                    |
| <b>H<sub>2</sub>O</b> |                 |              |                        | 92                                   | 92                     |
| <b>Total</b>          | 74              | 1.087        | <b>1.161</b>           | 1.161                                | <b>1.161</b>           |

Tabla 7.13 – Balance de Materia de Combustible para Pirolisis (H - 1).

## 7.4.5. Etapa de Pirolisis: Balance Global de Materia

- Reacciones Supuestas: Entrada de gases sin impurezas ( $N_2$ ,  $Cl$  y *Cenizas*).
- Balance de Materia:  $F_1 + A_1 + C_1 = F_4 + F_7 + F_8$  ecu. 7.14
- Otras Ecuaciones:
- $C_1 = C_3$  ecu. 7.15
- $F_4 = F_2$  ecu. 7.16
- $A_2 = A_{2a}$  ecu. 7.17
- $A_3 = A_{3b} = A_{3a}$  ecu. 7.18
- $A_5 = A_2 + A_3$  ecu. 7.19
- $A_1 = A_2 + A_3 + A_4 - A_5$  ecu. 7.20

| FLUJO    | DEFINICIÓN   |
|----------|--|
| $F_1$    | Entrada Cáscaras de Nueces Horno Rotatorio (25 °C)                 |
| $F_2$    | Salida Carbón Natural Horno Rotatorio (500 °C)                     |
| $F_4$    | Salida Carbón Natural Enfriador (25 °C)                            |
| $F_7$    | Salida Gases Torre de Absorción / Entrada Gases Adsorbedor (80 °C) |
| $F_8$    | Salida Líquido Torre de Absorción (50 °C)                          |
| $A_1$    | Entrada Agua Alimentación Estanque AG1 (15 °C)                     |
| $A_2$    | Entrada Agua Enfriador (15 °C)                                     |
| $A_{2a}$ | Salida Agua Enfriador / Entrada Pozo Colector (50 °C)              |
| $A_3$    | Entrada Agua Inter. Calor (15 °C)                                  |
| $A_{3a}$ | Salida Agua Inter. Calor (50 °C)                                   |
| $A_{3b}$ | Entrada Agua Pozo Colector (50 °C)                                 |
| $A_{3c}$ | Entrada Agua Estanque AG2 / Alimentación Agua Caldera (50 °C)      |
| $A_4$    | Entrada Agua Torre de Absorción (15 °C)                            |
| $A_5$    | Retorno Agua Alimentación Agua (15 °C)                             |
| $C_1$    | Entrada Combustible Alimentación (25 °C)                           |
| $C_3$    | Entrada Combustible a Horno Rotatorio (25 °C)                      |
| $C_{3a}$ | Salida Gases Combustión de Horno Rotatorio (500 °C)                |

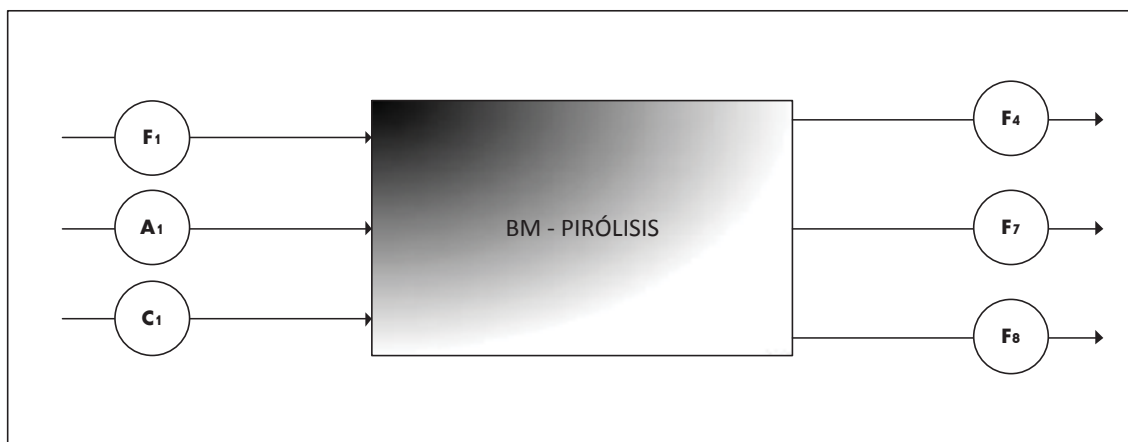


Figura 7.8 – Esquema Balance de Materia Global de Etapa Pirólisis.

| <i>Componente</i> | <i>ENTRADAS</i><br>[kg/h] | <i>Total</i><br>[kg/h] | <i>SALIDAS</i><br>[kg/h] | <i>Total</i><br>[kg/h] |
|-------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|
| $F_1$             | 1.270                     | 1.270                  |                          |                        |
| $F_4$             |                           |                        | 357                      | 357                    |
| $F_8$             |                           |                        | 10.043                   | 10.043                 |
| $F_7$             |                           |                        | 936                      | 936                    |
| $A_1$             | 8.905                     | 8.905                  |                          |                        |
| $C_1$             | 1.161                     | 1.161                  |                          |                        |
| <b>Total</b>      | <b>11.336</b>             | <b>11.336</b>          | <b>11.336</b>            | <b>11.336</b>          |

Tabla 7.14 – Balance de Materia Global de Etapa Pirólisis.

#### 7.4.6. Etapa de Activación: Horno Rotatorio

- Reacciones Supuestas: La reacción ocurre sobre el carbono residual en la superficie, donde por bibliografía podemos encontrar eficiencias que van desde el 91,00% al 98,00% con respecto al carbón natural de entrada, por ende en las pruebas de activación se pudo encontrar una eficiencia cercana al 95,00%, pero se tomará una eficiencia del caso menos favorable, esta es de 90,71%

donde el carbón a reaccionar representa aproximadamente un 9% (base seca) del valor del carbón natural producido.

- Suposiciones Adicionales: Se ingresa el carbón natural obtenido en la etapa anterior conservando la misma humedad en el material cercano al 5,00%
- $C(s) + H_2O(g) \rightarrow H_2(g) + CO(g)$  (Endotérmica) ecu. 7.21
- Balance de Materia:  $F_4 + A_V = F_2 + F_3$  ecu. 7.22

| FLUJO | DEFINICIÓN  |
|-------|---|
| $F_4$ | Entrada Carbón Natural (25 °C)                                |
| $A_V$ | Salida Vapor Caldera / Entrada Vapor Horno Rotatorio (150 °C) |
| $F_2$ | Salida Carbón Activado Horno Rotatorio (900 °C)               |
| $F_3$ | Salida Gases Pirolisis (900 °C)                               |

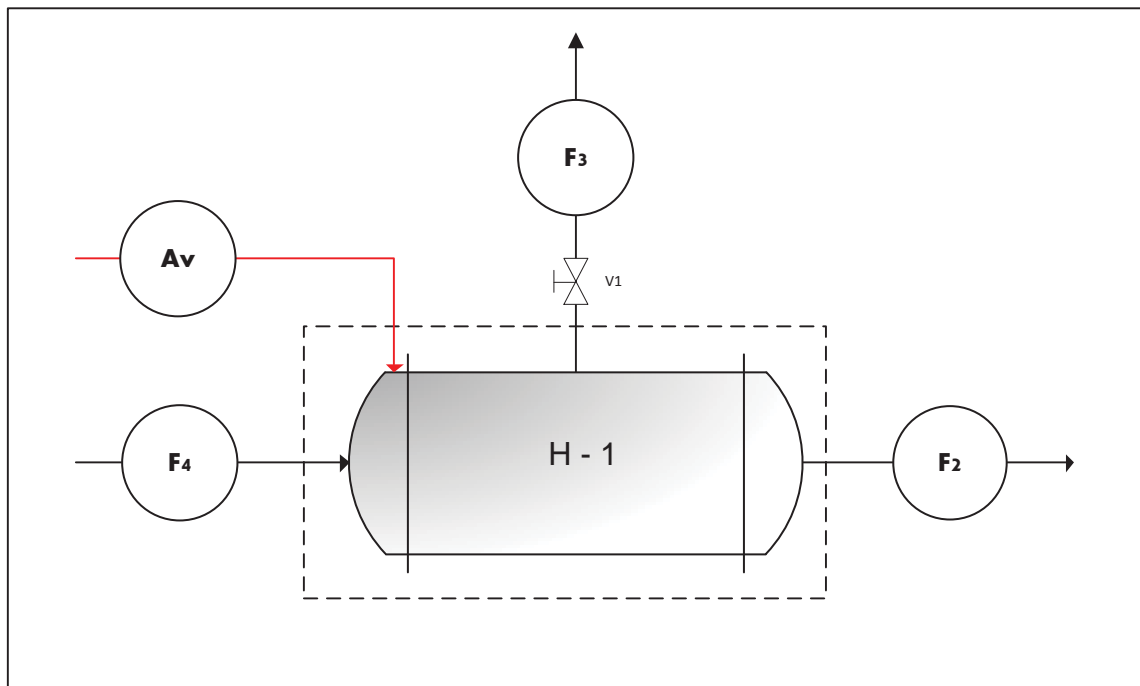


Figura 7.9 – Esquema de Balance de Materia para Horno Rotatorio (H - 1).

| <b>Componente</b>           | <b>ENTRADAS</b> |                 | <b>Total</b><br>[kg/h] | <b>SALIDAS</b>  |                 | <b>Total</b><br>[kg/h] |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|------------------------|-----------------|-----------------|------------------------|
|                             | $F_4$<br>[kg/h] | $A_V$<br>[kg/h] |                        | $F_3$<br>[kg/h] | $F_2$<br>[kg/h] |                        |
| <b>C</b>                    | 1.206           |                 | 1.206                  |                 | 1.094           | 1.094                  |
| <b>CO</b>                   |                 |                 |                        | 261             |                 | 261                    |
| <b>H<sub>2</sub></b>        |                 |                 |                        | 19              |                 | 19                     |
| <b>H<sub>2</sub>O (HUM)</b> | 64              |                 | 64                     | 18              | 46              | 64                     |
| <b>H<sub>2</sub>O (VAP)</b> |                 | 504             | 504                    | 336             |                 | 336                    |
| <b>Total</b>                | 1.270           | 504             | <b>1.774</b>           | 634             | 1.140           | <b>1.774</b>           |

Tabla 7.15 – Balance de Materia para Horno Rotatorio ( $H - 1$ ).

#### 7.4.7. Etapa de Activación: Torre Absorción

- Reacciones Supuestas: No hay reacciones, se lavan para poder abatir trazas de dióxido de azufre.
- Suposiciones Adicionales: Entrada de gases sin impurezas ( $N_2$ ,  $Cl$  y Cenizas); Recirculación para optimizar el flujo de agua de lavado.
- Balance de Materia:  $F_{6a} + A_4 = F_7 + F_8$  ecu. 7.23
- Ver esquema Figura 7.5.

| <b>FLUJO</b> | <b>DEFINICIÓN</b>  |
|--------------|--|
| $F_{6a}$     | Salida Gases Inter. Calor / Entrada Gases Torre Absorción (120 °C) |
| $F_7$        | Salida Gases Torre de Absorción / Entrada Gases Adsorbedor (80 °C) |
| $F_8$        | Salida Líquido Torre de Absorción (50 °C)                          |
| $A_4$        | Entrada Agua Torre de Absorción (15 °C)                            |



| <i>Componente</i>     | <i>ENTRADAS</i>    |                 | <i>Total</i><br>[kg/h] | <i>SALIDAS</i>  |                 | <i>Total</i><br>[kg/h] |
|-----------------------|--------------------|-----------------|------------------------|-----------------|-----------------|------------------------|
|                       | $F_{6a}$<br>[kg/h] | $A_4$<br>[kg/h] |                        | $F_7$<br>[kg/h] | $F_8$<br>[kg/h] |                        |
| <i>CO<sub>2</sub></i> | 690                |                 | 690                    |                 | 690             | 690                    |
| <i>CO</i>             | 261                |                 | 261                    |                 | 261             | 261                    |
| <i>H<sub>2</sub></i>  | 19                 |                 | 19                     | 19              |                 | 19                     |
| <i>N<sub>2</sub></i>  | 2.441              |                 | 2.441                  | 2.441           |                 | 2.441                  |
| <i>H<sub>2</sub>O</i> | 624                | 11.944          | 12.568                 |                 | 12.568          | 12.568                 |
| <b><i>Total</i></b>   | <b>4.035</b>       | <b>11.944</b>   | <b>15.979</b>          | <b>2.460</b>    | <b>13.519</b>   | <b>15.979</b>          |

Tabla 7.16 – Balance de Materia para Torre de Absorción (TA – 1).

#### 7.4.8. Etapa de Activación: Inter. Calor

- Reacciones Supuestas: No hay reacciones.
- Suposiciones Adicionales: Entrada de gases sin impurezas ( $N_2$ ,  $Cl$  y  $Cenizas$ ).
- Balance de Materia:  $F_6 + A_3 = F_{6a} + A_{3a}$  ecu. 7.24
- Otras Ecuaciones:  $F_6 = F_3 + C_{2a} + C_{3a}$  ecu. 7.25
- Ver esquema Figura 7.6.

| <b>FLUJO</b> | <b>DEFINICIÓN</b>  |
|--------------|--|
| $F_3$        | Salida Gases Pirolisis (900 °C)                                    |
| $F_6$        | Entrada Gases Inter. Calor (900 °C)                                |
| $F_{6a}$     | Salida Gases Inter. Calor / Entrada Gases Torre Absorción (120 °C) |
| $A_3$        | Entrada Agua Inter. Calor (15 °C)                                  |
| $A_{3a}$     | Salida Agua Inter. Calor (50 °C)                                   |
| $C_{2a}$     | Salida Gases Combustión Caldera (900 °C)                           |
| $C_{3a}$     | Salida Gases Combustión de Horno Rotatorio (900 °C)                |

| <i>Componente</i>            | <i>ENTRADAS</i> |                 | <i>Total</i><br>[kg/h] | <i>SALIDAS</i>     |                    | <i>Total</i><br>[kg/h] |
|------------------------------|-----------------|-----------------|------------------------|--------------------|--------------------|------------------------|
|                              | $F_6$<br>[kg/h] | $A_3$<br>[kg/h] |                        | $F_{6a}$<br>[kg/h] | $A_{3a}$<br>[kg/h] |                        |
| <i>CO<sub>2</sub></i>        | 690             |                 | 690                    | 690                |                    | 690                    |
| <i>CO</i>                    | 261             |                 | 261                    | 261                |                    | 261                    |
| <i>H<sub>2</sub></i>         | 19              |                 | 19                     | 19                 |                    | 19                     |
| <i>N<sub>2</sub></i>         | 2.441           |                 | 2.441                  | 2.441              |                    | 2.441                  |
| <i>H<sub>2</sub>O</i>        | 624             |                 | 624                    | 624                |                    | 624                    |
| <i>H<sub>2</sub>O(Refri)</i> |                 | 28.808          | 28.808                 |                    | 28.808             | 28.808                 |
| <b><i>Total</i></b>          | <b>4.035</b>    | <b>28.808</b>   | <b>32.843</b>          | <b>4.035</b>       | <b>28.808</b>      | <b>32.843</b>          |

Tabla 7.17 – Balance de Materia para Inter. De Calor (IC – 1).

| <i>Componente</i>     | <i>ENTRADAS</i> |                    |                    | <i>Total</i><br>[kg/h] | <i>SALIDAS</i><br>$F_6$<br>[kg/h] | <i>Total</i><br>[kg/h] |
|-----------------------|-----------------|--------------------|--------------------|------------------------|-----------------------------------|------------------------|
|                       | $F_3$<br>[kg/h] | $C_{3a}$<br>[kg/h] | $C_{2a}$<br>[kg/h] |                        |                                   |                        |
| <i>CO<sub>2</sub></i> |                 | 568                | 122                | 690                    | 690                               | 690                    |
| <i>CO</i>             | 261             |                    |                    | 261                    | 261                               | 261                    |
| <i>H<sub>2</sub></i>  | 19              |                    |                    | 19                     | 19                                | 19                     |
| <i>N<sub>2</sub></i>  |                 | 2.009              | 432                | 2.441                  | 2.441                             | 2.441                  |
| <i>H<sub>2</sub>O</i> | 354             | 222                | 48                 | 624                    | 624                               | 624                    |
| <b><i>Total</i></b>   | <b>634</b>      | <b>2.799</b>       | <b>602</b>         | <b>4.035</b>           | <b>4.035</b>                      | <b>4.035</b>           |

Tabla 7.18 – Balance de Materia para Inter. De Calor (IC – 1).

#### 7.4.9. Etapa de Activación: Consumo Combustibles

- Balance de Materia:  $C_2 + FA_2 = C_{2a}$  ecu. 7.26
- Balance de Materia:  $C_3 + FA_1 = C_{3a}$  ecu. 7.27
- Otras Ecuaciones:
- $C_1 = C_2 + C_3$  ecu. 7.28

$$- FA = FA_1 + FA_2$$

ecu. 7.29

| FLUJO     | DEFINICIÓN  |
|-----------|---|
| $FA$      | Alimentación de Aire a Horno Rotatorio y Caldera (25 °C)      |
| $FA_1$    | Alimentación de Aire a Horno Rotatorio (25 °C)                |
| $FA_2$    | Alimentación de Aire a Caldera (25 °C)                        |
| $C_1$     | Entrada Combustible Alimentación (25 °C)                      |
| $C_2$     | Entrada Combustible Caldera (25 °C)                           |
| $C_{2a}$  | Salida Gases Combustión Caldera (900 °C)                      |
| $C_3$     | Entrada Combustible a Horno Rotatorio (25 °C)                 |
| $C_{3a'}$ | Salida Gases Combustión de Horno Rotatorio y Caldera (900 °C) |

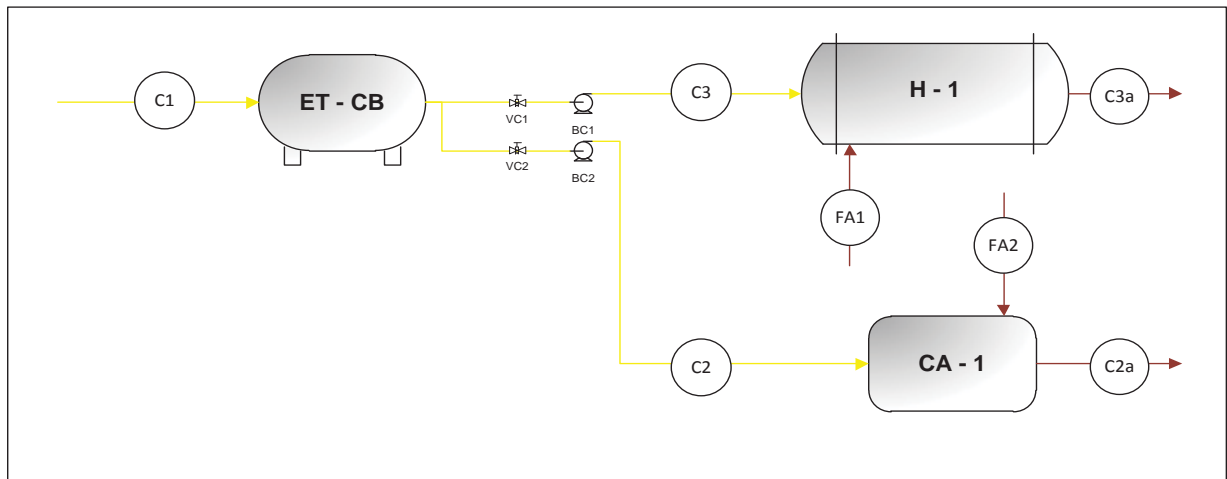


Figura 7.10 – Esquema de Balance de Materia Combustible para Activación (H – 1; CA – 1).

- **Combustible: Fuel Diesel**

- Composición media:  $C_{12}H_{23}$ , no se considera S, N y Cenizas. El flujo de Diesel se incremento en un 20%, dado que se debe contemplar la eficiencia de este en el horno.

- Reacciones Supuestas:  $C_{12}H_{23} (l) + 17.75O_2 (g) \rightarrow 12CO_2 (g) + 11.5H_2O (g)$   
(Exotérmica). ecu. 7.30

| <i>Componente</i>  | <i>ENTRADAS</i> |                  | <i>Total</i><br>[kg/h] | <i>SALIDAS</i><br>$C_{3a'}$<br>[kg/h] | <i>Total</i><br>[kg/h] |
|--------------------|-----------------|------------------|------------------------|---------------------------------------|------------------------|
|                    | $C_1$<br>[kg/h] | $FA_1$<br>[kg/h] |                        |                                       |                        |
| <i>Fuel Diesel</i> | 218             |                  | 218                    |                                       |                        |
| $O_2$              |                 | 742              | 742                    |                                       |                        |
| $N_2$              |                 | 2.441            | 2.441                  | 2.441                                 | 2.441                  |
| $CO_2$             |                 |                  |                        | 690                                   | 690                    |
| $H_2O$             |                 |                  |                        | 270                                   | 270                    |
| <i>Total</i>       | 218             | 3.183            | <b>3.401</b>           | 3.401                                 | <b>3.401</b>           |

Tabla 7.19 – Balance de Materia Fuel Diesel ( $H - 1$ ;  $CA - 1$ ).

| <i>Componente</i>  | <i>ENTRADAS</i> |                  | <i>Total</i><br>[kg/h] | <i>SALIDAS</i><br>$C_{2a}$<br>[kg/h] | <i>Total</i><br>[kg/h] |
|--------------------|-----------------|------------------|------------------------|--------------------------------------|------------------------|
|                    | $C_2$<br>[kg/h] | $FA_2$<br>[kg/h] |                        |                                      |                        |
| <i>Fuel Diesel</i> | 39              |                  | 39                     |                                      |                        |
| $O_2$              |                 | 131              | 131                    |                                      |                        |
| $N_2$              |                 | 432              | 432                    | 432                                  | 432                    |
| $CO_2$             |                 |                  |                        | 122                                  | 122                    |
| $H_2O$             |                 |                  |                        | 48                                   | 48                     |
| <i>Total</i>       | 39              | 563              | <b>602</b>             | 602                                  | <b>602</b>             |

Tabla 7.20 – Balance de Materia Fuel Diesel ( $H - 1$ ;  $CA - 1$ ).

#### 7.4.10. Etapa de Activación: Balance Global de Materia

- Reacciones Supuestas: Entrada de gases sin impurezas ( $N_2$ ,  $Cl$  y *Cenizas*).
- Balance de Materia:  $F_4 + A_1 + C_1 = F_5 + F_7 + F_8$  ecu. 7.31
- Otras Ecuaciones:

- $C_1 = C_2 + C_3$  ecu. 7.32
- $F_5 = F_2$  ecu. 7.33
- $A_3 = A_{3a} = A_{3b} + A_{3c}$  ecu. 7.34
- $A_5 = A_2 + A_3$  ecu. 7.35
- $A_1 = A_2 + A_3 + A_4 - A_5$  ecu. 7.36
- $A_2 = A_{2a}$  ecu. 7.37
- $A_{3c} = A_V$  ecu. 7.38

| FLUJO    | NOMBRE   |
|----------|--|
| $F_2$    | Salida Carbón Activado Horno Rotatorio (900 °C)                    |
| $F_3$    | Salida Gases Pirolisis (900 °C)                                    |
| $F_4$    | Entrada Carbón Natural (25 °C)                                     |
| $F_5$    | Salida de Carbón Activado Enfriador (25 °C)                        |
| $F_6$    | Entrada Gases Inter. Calor (900 °C)                                |
| $F_{6a}$ | Salida Gases Inter. Calor / Entrada Gases Torre Absorción (120 °C) |
| $F_7$    | Salida Gases Torre de Absorción / Entrada Gases Adsorbedor (80 °C) |
| $F_8$    | Salida Líquido Torre de Absorción (50 °C)                          |
| $A_1$    | Entrada Agua Alimentación Estanque AG1 (15 °C)                     |
| $A_2$    | Entrada Agua Enfriador (15 °C)                                     |
| $A_{2a}$ | Salida Agua Enfriador / Entrada Pozo Colector (50 °C)              |
| $A_3$    | Entrada Agua Inter. Calor (15 °C)                                  |
| $A_{3a}$ | Salida Agua Inter. Calor (50 °C)                                   |
| $A_{3b}$ | Entrada Agua Pozo Colector (50 °C)                                 |
| $A_{3c}$ | Entrada Agua Estanque AG2 / Alimentación Agua Caldera (50 °C)      |
| $A_4$    | Entrada Agua Torre de Absorción (15 °C)                            |
| $A_5$    | Retorno Agua Alimentación Agua (15 °C)                             |
| $A_V$    | Salida Vapor Caldera / Entrada Vapor Horno Rotatorio (150 °C)      |
| $C_1$    | Entrada Combustible Alimentación (25 °C)                           |
| $C_2$    | Entrada Combustible Caldera (25 °C)                                |
| $C_{2a}$ | Salida Gases Combustión Caldera (900 °C)                           |
| $C_3$    | Entrada Combustible a Horno Rotatorio (25 °C)                      |
| $C_{3a}$ | Salida Gases Combustión de Horno Rotatorio (900 °C)                |

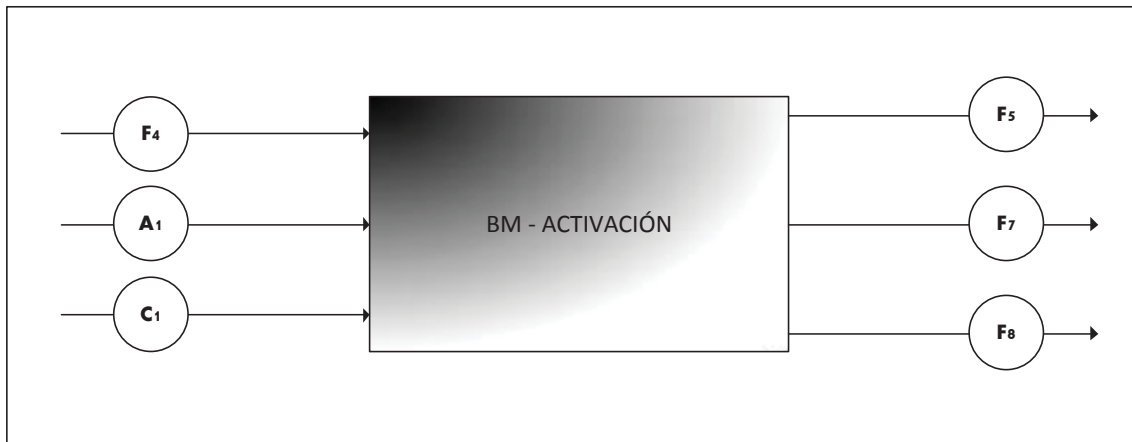


Figura 7.11 – Esquema Balance de Materia Global Etapa de Activación.

| <i>Componente</i> | <i>ENTRADAS</i><br>[kg/h] | <i>Total</i><br>[kg/h] | <i>SALIDAS</i><br>[kg/h] | <i>Total</i><br>[kg/h] |
|-------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|
| $F_4$             | 1.270                     | 1.270                  |                          |                        |
| $F_5$             |                           |                        | 1.140                    | 1.140                  |
| $F_7$             |                           |                        | 2.460                    | 2.460                  |
| $F_8$             |                           |                        | 13.519                   | 13.519                 |
| $A_1$             | 12.448                    | 12.448                 |                          |                        |
| $C_1$             | 3.401                     | 3.401                  |                          |                        |
| <b>Total</b>      | 17.119                    | <b>17.119</b>          | 17.119                   | <b>17.119</b>          |

Tabla 7.21 – Balance de Materia Global Etapa de Activación.

## 7.5 Balances de Energía

Se realizan balances de energía para determinar la cantidad de calor necesaria para cada etapa del proceso, en forma cualitativa podemos advertir que se necesita mantener calor en el horno rotatorio en 500 °C (Pirolisis) y 900 °C (Activación), donde una vez obtenidos estos calores se pueden desarrollar las ecuaciones para el gasto de combustible de cada una de estas etapas, dependiendo del tipo de combustible a usar y costos al momento de adquirir los equipos.

Para esto se ha visto en la sección anterior balances para combustibles: Fuel Diesel y Metano, balances que se han cuadrado a través del balance de energía de los equipos para ver el requerimiento energético y así determinar la masa de combustible por medio de su poder calorífico, como se desarrolla en el **Anexo 4**.

- **Pirolisis:** Horno Rotatorio, Adsorbedor, Inter. Calor y Torre de Absorción. Se considera procesar aproximadamente para el balance de materia 1.270 (kg/h), de Cáscaras de Nueces.
- **Activación:** Horno Rotatorio, Adsorbedor, Inter. Calor y Torre de Absorción. Se considera procesar aproximadamente para el balance de materia 1.270 (kg/h), de Carbón natural.

## 7.5.1. Etapa de Pirolisis: Horno Rotatorio

- Balance de Energía:  $Q_1 + Q_2 + Q_3 = \Delta H_1 = 2.138.407 \text{ [kj/h]}$  ecu. 7.39
- Otras Ecuaciones:
- $Q_1 = Q_a + Q_b$  ecu. 7.40
- $Q_b = \lambda_{AGUA} \cdot F_1^m \cdot x_{AGUA}$  ecu. 7.41
- $Q_2 = \Delta H_R \cdot F_1$  ecu. 7.42
- $Q_3 = Q_c + Q_d$  ecu. 7.43
- Suposiciones: Se considera que la reacción ocurre a 450 °C y el calor de reacción viene dado por bibliografía, si tenemos que:

| Componente       | Cantidad | Unidad    |
|------------------|----------|-----------|
| $\Delta H_R$     | 837      | [kj/kg]   |
| $\lambda_{AGUA}$ | 44.012   | [kj/kmol] |

| FLUJO            | NOMBRE   | UNIDAD    |
|------------------|--|-----------|
| $F_1^m$          | Entrada Cáscaras de Nueces a Horno Rotatorio (25 °C)         | [kmol/h]  |
| $F_1$            | Entrada Cáscaras de Nueces a Horno Rotatorio (25 °C)         | [kg/h]    |
| $F_2$            | Salida Carbón Natural (500 °C)                               | [kg/h]    |
| $F_3$            | Salida Gases de Pirolisis (500 °C)                           | [kg/h]    |
| $Q_1$            | Calor Necesario llevar Cáscaras de Nueces de 25 a 450 °C     | [kj/h]    |
| $Q_1$            | Calor de Reacción a (450 °C)                                 | [kj/h]    |
| $Q_3$            | Calor Necesario llevar Producto de Pirolisis de 450 a 500 °C | [kj/h]    |
| $\Delta H_1$     | Calor Total Necesario (H - 1): Etapa de Pirolisis            | [kj/h]    |
| $\Delta H_R$     | Calor de Reacción a 450 °C                                   | [kj/kg]   |
| $Q_a$            | Calor Necesario llevar Cáscaras de Nueces de 25 a 450 °C     | [kj/h]    |
| $Q_b$            | Calor de Latente Agua a (100 °C y 1 atm)                     | [kj/h]    |
| $Q_c$            | Calor Necesario llevar Carbón Natural de 450 a 500 °C        | [kj/h]    |
| $Q_d$            | Calor Necesario llevar Gases de 450 a 500 °C                 | [kj/h]    |
| $\lambda_{AGUA}$ | Calor Latente para llevar $H_2O (l)$ a $H_2O (g)$            | [kj/kmol] |
| $x_{AGUA}$       | Fracción Molar de Agua en $F_1^m$                            |           |



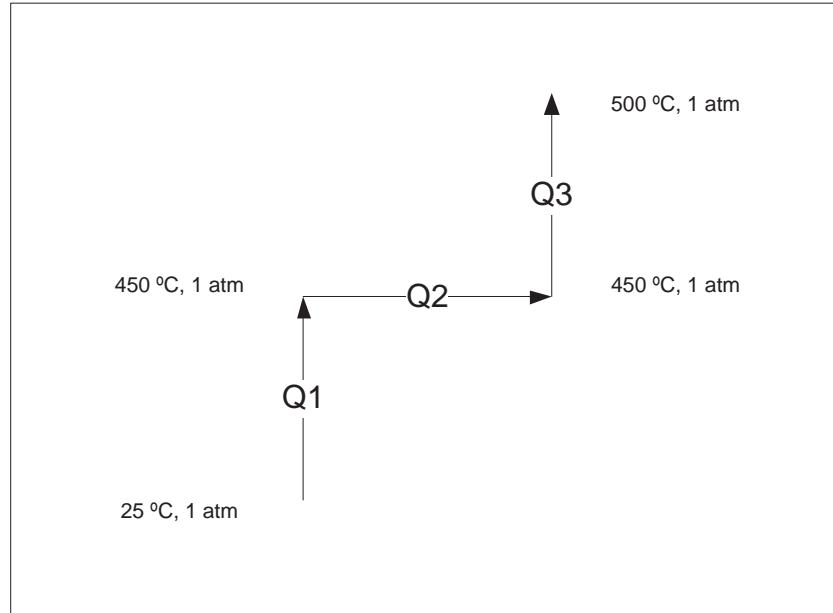


Figura 7.12 – Esquema Balance de Energía para Horno Rotatorio ( $H - 1$ ).

- $Q_b = \lambda_{AGUA} \cdot F_1^m = 156.487 \text{ [KJ/hr]}$  ecu. 7.44
- $Q_2 = \Delta H_R \cdot F_1 = 1.062.990 \text{ [KJ/hr]}$  ecu. 7.45

| Componente     | Flujo Total  |              | $C_p \cdot \Delta T$ |                      |                      | $Q_1$<br>[kj/h] |
|----------------|--------------|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------|
|                | [kg/h]       | [kmol/h]     | Sólido<br>[kj/kmol]  | Líquido<br>[kj/kmol] | Gaseoso<br>[kj/kmol] |                 |
| $C_9H_{12}O$   | 294          | 2,16         | 84.917               |                      |                      | 183.570         |
| $C_5H_{10}O_5$ | 455          | 3,03         | 92.378               |                      |                      | 280.213         |
| $C_6H_{10}O_5$ | 433          | 2,67         | 95.576               |                      |                      | 255.459         |
| $S$            | 24           | 0,75         | 10.135               |                      |                      | 7.602           |
| $H_2O (HUM)$   | 64           | 3,56         |                      | 5.681                | 12.540               | 64.787          |
| <b>Total</b>   | <b>1.270</b> | <b>12,17</b> |                      |                      |                      | <b>791.631</b>  |

Tabla 7.22 – Balance de Energía para Horno Rotatorio ( $H - 1$ ) : ( $Q_1$ )

| <b>Flujo</b>                |                    | <b>F<sub>2</sub></b> |                           |                  |                  |                      |
|-----------------------------|--------------------|----------------------|---------------------------|------------------|------------------|----------------------|
| <b>T1</b>                   | <b>723</b>         | <b>[K]</b>           |                           |                  |                  |                      |
| <b>T2</b>                   | <b>773</b>         | <b>[K]</b>           |                           |                  |                  |                      |
| <b>Presión</b>              | <b>5</b>           | <b>[atm]</b>         |                           |                  |                  |                      |
| <b>Sólido</b>               | <b>Flujo Total</b> |                      | <b>C<sub>p</sub> · ΔT</b> |                  |                  | <b>Q<sub>c</sub></b> |
|                             | <b>[kg/h]</b>      | <b>[kmol/h]</b>      | <b>Sólido</b>             | <b>Líquido</b>   | <b>Gaseoso</b>   |                      |
|                             |                    |                      | <b>[kj/kmol]</b>          | <b>[kj/kmol]</b> | <b>[kj/kmol]</b> | <b>[kj/h]</b>        |
| <b>C</b>                    | 340                | 28,33                | 911                       |                  |                  | 25.825               |
| <b>H<sub>2</sub>O (HUM)</b> | 17                 | 0,94                 |                           |                  | 1.902            | 1.797                |
| <b>Total</b>                | <b>357</b>         | <b>29,27</b>         |                           |                  |                  | <b>27.662</b>        |

Tabla 7.23 – Balance de Energía para Horno Rotatorio (H – 1) : (Q<sub>c</sub>)

| <b>Flujo</b>                      |                    | <b>F<sub>3</sub></b> |                           |                  |                  |                      |
|-----------------------------------|--------------------|----------------------|---------------------------|------------------|------------------|----------------------|
| <b>T1</b>                         | <b>723</b>         | <b>[K]</b>           |                           |                  |                  |                      |
| <b>T2</b>                         | <b>773</b>         | <b>[K]</b>           |                           |                  |                  |                      |
| <b>Presión</b>                    | <b>2</b>           | <b>[atm]</b>         |                           |                  |                  |                      |
| <b>Componente</b>                 | <b>Flujo Total</b> |                      | <b>C<sub>p</sub> · ΔT</b> |                  |                  | <b>Q<sub>d</sub></b> |
|                                   | <b>[kg/h]</b>      | <b>[kmol/h]</b>      | <b>Sólido</b>             | <b>Líquido</b>   | <b>Gaseoso</b>   |                      |
|                                   |                    |                      | <b>[kj/kmol]</b>          | <b>[kj/kmol]</b> | <b>[kj/kmol]</b> | <b>[kj/h]</b>        |
| <b>CO<sub>2</sub></b>             | 144                | 3,27                 |                           |                  | 2.507            | 8.206                |
| <b>CO</b>                         | 139                | 4,96                 |                           |                  | 1.574            | 7.815                |
| <b>CH<sub>4</sub></b>             | 48                 | 3,00                 |                           |                  | 3.028            | 9.083                |
| <b>SO<sub>2</sub></b>             | 48                 | 0,75                 |                           |                  | 2.382            | 1.786                |
| <b>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></b> | 32                 | 1,14                 |                           |                  | 4.046            | 4.624                |
| <b>H<sub>2</sub></b>              | 22                 | 11,00                |                           |                  | 1.488            | 16.368               |
| <b>H<sub>2</sub>O (RxN)</b>       | 318                | 17,67                |                           |                  | 1.902            | 33.608               |
| <b>ALQUITRÁN</b>                  | 115                | 1,47                 |                           |                  | 8.966            | 13.220               |
| <b>H<sub>2</sub>O (HUM)</b>       | 47                 | 2,61                 |                           |                  | 1.902            | 4.967                |
| <b>Total</b>                      | <b>913</b>         | <b>45,87</b>         |                           |                  |                  | <b>99.677</b>        |

Tabla 7.24 – Balance de Energía para Horno Rotatorio (H – 1) : (Q<sub>d</sub>)

## 7.5.2. Etapa de Pirolisis: Inter. de Calor

- Balance de Energía:  $Q_4 + Q_5 = \Delta H_2 = 0$  [kj/h] ecu. 7.46
- Suposiciones: Se considera que el sistema es adiabático, no hay pérdidas de calor hacia los alrededores, si tenemos que:

| FLUJO        | NOMBRE  | UNIDAD |
|--------------|---|--------|
| $F_6$        | Entrada Gases Inter. Calor (500 °C)                         | [kg/h] |
| $A_3$        | Entrada Agua Inter. Calor (15 °C)                           | [kg/h] |
| $Q_4$        | Calor Total Retirado para Enfriar ( $F_6$ ) de 500 a 120 °C | [kj/h] |
| $Q_5$        | Calor Total Entregado para Calentar ( $A_3$ ) de 15 a 50 °C | [kj/h] |
| $\Delta H_2$ | Calor Total (IC - 1): Etapa de Pirolisis                    | [kj/h] |

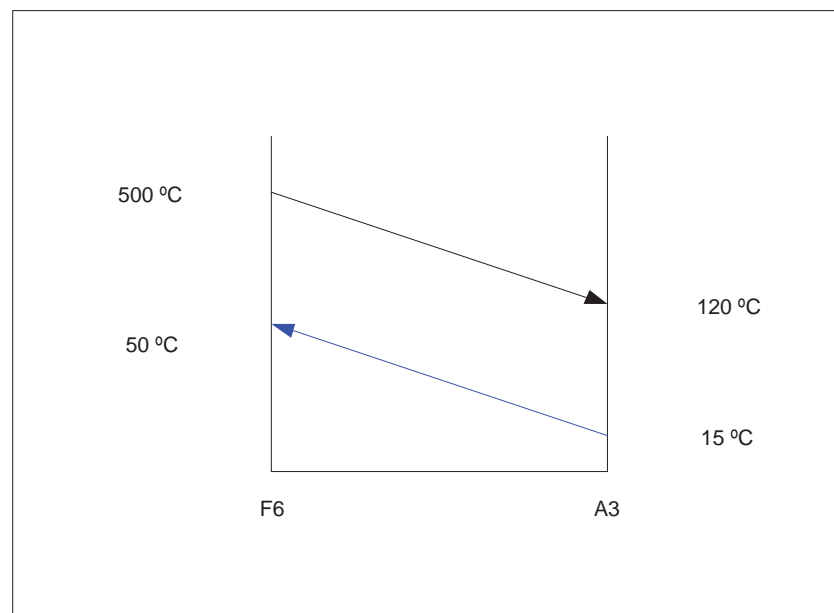


Figura 7.13 – Figura de Balance de Energía para Inter. De Calor (IC - 1).

| <b>Flujo</b>                      | <b>F<sub>6</sub></b> |                 |                           |                  |                  |                      |
|-----------------------------------|----------------------|-----------------|---------------------------|------------------|------------------|----------------------|
| <b>T1</b>                         | <b>773</b>           |                 | <b>[K]</b>                |                  |                  |                      |
| <b>T2</b>                         | <b>393</b>           |                 | <b>[K]</b>                |                  |                  |                      |
| <b>Presión</b>                    | <b>1</b>             |                 | <b>[atm]</b>              |                  |                  |                      |
| <b>Componente</b>                 | <b>Flujo Total</b>   |                 | <b>C<sub>p</sub> · ΔT</b> |                  |                  | <b>Q<sub>4</sub></b> |
|                                   | <b>[kg/h]</b>        | <b>[kmol/h]</b> | <b>Sólido</b>             | <b>Líquido</b>   | <b>Gaseoso</b>   |                      |
|                                   |                      |                 | <b>[kj/kmol]</b>          | <b>[kj/kmol]</b> | <b>[kj/kmol]</b> | <b>[kj/h]</b>        |
| <b>CO<sub>2</sub></b>             | 379                  | 8,61            |                           |                  | -17.962          | -154.718             |
| <b>CO</b>                         | 139                  | 4,96            |                           |                  | -11.660          | -57.881              |
| <b>CH<sub>4</sub></b>             | 48                   | 3,00            |                           |                  | -19.697          | -59.092              |
| <b>SO<sub>2</sub></b>             | 48                   | 0,75            |                           |                  | -18.352          | -13.764              |
| <b>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></b> | 32                   | 1,14            |                           |                  | -26.128          | -29.860              |
| <b>H<sub>2</sub></b>              | 22                   | 11,00           |                           |                  | -11.128          | -122.410             |
| <b>H<sub>2</sub>O</b>             | 457                  | 25,39           |                           |                  | -13.759          | -349.336             |
| <b>ALQUITRÁN</b>                  | 115                  | 1,47            |                           |                  | -80.809          | -119.142             |
| <b>N<sub>2</sub></b>              | 834                  | 29,79           |                           |                  | -11.496          | -342.429             |
| <b>Total</b>                      | <b>2074</b>          | <b>86,11</b>    |                           |                  |                  | <b>-1.248.632</b>    |

Tabla 7.25 – Balance de Energía para Inter. De Calor (IC – 1) : (Q<sub>4</sub>)

| <b>Flujo</b>          | <b>A<sub>3</sub></b> |                 |                           |                  |                  |                      |
|-----------------------|----------------------|-----------------|---------------------------|------------------|------------------|----------------------|
| <b>T1</b>             | <b>288</b>           |                 | <b>[K]</b>                |                  |                  |                      |
| <b>T2</b>             | <b>323</b>           |                 | <b>[K]</b>                |                  |                  |                      |
| <b>Presión</b>        | <b>1</b>             |                 | <b>[atm]</b>              |                  |                  |                      |
| <b>Componente</b>     | <b>Flujo Total</b>   |                 | <b>C<sub>p</sub> · ΔT</b> |                  |                  | <b>Q<sub>5</sub></b> |
|                       | <b>[kg/h]</b>        | <b>[kmol/h]</b> | <b>Sólido</b>             | <b>Líquido</b>   | <b>Gaseoso</b>   |                      |
|                       |                      |                 | <b>[kj/kmol]</b>          | <b>[kj/kmol]</b> | <b>[kj/kmol]</b> | <b>[kj/h]</b>        |
| <b>H<sub>2</sub>O</b> | 8.509                | 472,73          |                           | 2.641            |                  | 1.248.632            |
| <b>Total</b>          | <b>8.509</b>         | <b>472,73</b>   |                           |                  |                  | <b>1.248.632</b>     |

Tabla 7.26 – Balance de Energía para Inter. De Calor (IC – 1) : (Q<sub>5</sub>)

### 7.5.3. Etapa de Pirolisis: Enfriador

- Balance de Energía:  $Q_6 + Q_7 = \Delta H_3 = 0$  [KJ/hr] ecu. 7.47
- $Q_6 = Q_e + Q_f$  ecu. 7.48
- $Q_f = \lambda_{AGUA} \cdot F_2^m \cdot x_{AGUA}$  ecu. 7.49
- Suposiciones: Se considera que el sistema es adiabático, no hay pérdidas de calor hacia los alrededores, si tenemos que:

| Componente       | Cantidad | Unidad    |
|------------------|----------|-----------|
| $\lambda_{AGUA}$ | -44.012  | [kj/kmol] |

| FLUJO            | NOMBRE  | UNIDAD    |
|------------------|---|-----------|
| $F_2^m$          | Salida Carbón Natural Horno Rotatorio (500 °C)                          | [kmol/h]  |
| $F_2$            | Salida Carbón Natural Horno Rotatorio (500 °C)                          | [kg/h]    |
| $A_2$            | Entrada Agua Enfriador (15 °C)  | [kg/h]    |
| $Q_6$            | Calor Total Retirado para Enfriar ( $F_2$ ) de 500 a 25 °C              | [kj/h]    |
| $Q_7$            | Calor Necesario para Calentar Agua Enfriamiento ( $A_2$ ) de 15 a 50 °C | [kj/h]    |
| $\Delta H_3$     | Calor Total Necesario (ES - 1): Etapa de Pirolisis                      | [kj/h]    |
| $Q_e$            | Calor Sensible Retirado para Enfriar ( $F_2$ ) de 500 a 25 °C           | [kj/h]    |
| $Q_f$            | Calor Latente Agua a (100 °C y 1 atm)                                   | [kj/h]    |
| $\lambda_{AGUA}$ | Calor Latente para llevar $H_2O$ (g) a $H_2O$ (l)                       | [kj/kmol] |
| $x_{AGUA}$       | Fracción Molar de Agua en $F_2^m$                                       |           |

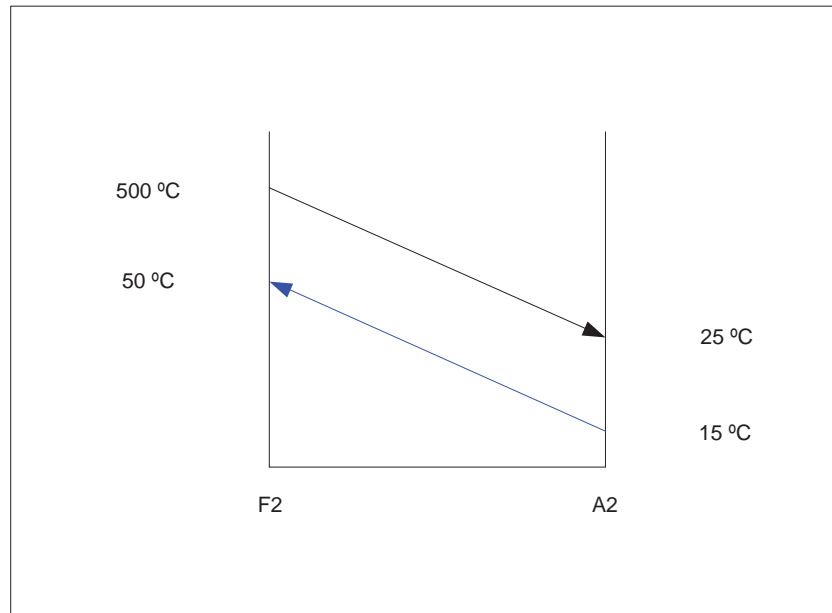


Figura 7.14 – Figura de Balance de Energía para Enfriador (ES – 1).

$$- Q_f = \lambda_{AGUA} \cdot F_2^m \cdot x_{AGUA} = -41.567 \text{ [KJ/hr]} \quad \text{ecu. 7.50}$$

| Componente            | Flujo Total |              | $C_p \cdot \Delta T$ |                      |                      | $Q_h$<br>[kj/h] |
|-----------------------|-------------|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------|
|                       | [kg/h]      | [kmol/h]     | Sólido<br>[kj/kmol]  | Líquido<br>[kj/kmol] | Gaseoso<br>[kj/kmol] |                 |
| <b>C</b>              | 340         | 28,33        | -7.138               |                      |                      | -202.245        |
| <b>H<sub>2</sub>O</b> | 17          | 0,94         |                      | -5.681               | -14.442              | -19.006         |
| <b>Total</b>          | <b>357</b>  | <b>29,27</b> |                      |                      |                      | <b>-221.251</b> |

Tabla 7.27 – Balance de Energía para Enfriador (ES – 1) : ( $Q_h$ )

|                       |                         |                 |                  |  |                  |                         |
|-----------------------|-------------------------|-----------------|------------------|--|------------------|-------------------------|
| <b>Flujo</b>          | <b><math>A_2</math></b> |                 |                  |  |                  |                         |
| <b>T1</b>             | <b>288</b>              |                 | <b>[K]</b>       |  |                  |                         |
| <b>T2</b>             | <b>323</b>              |                 | <b>[K]</b>       |  |                  |                         |
| <b>Presión</b>        | <b>1</b>                |                 | <b>[atm]</b>     |  |                  |                         |
| <b>Componente</b>     | <b>Flujo Total</b>      |                 | <b>Sólido</b>    | <b><math>C_p \cdot \Delta T</math></b> |                  | <b><math>Q_7</math></b> |
|                       | <b>[kg/h]</b>           | <b>[kmol/h]</b> |                  | <b>Líquido</b>                         | <b>Gaseoso</b>   |                         |
|                       |                         |                 | <b>[kJ/kmol]</b> | <b>[kJ/kmol]</b>                       | <b>[kJ/kmol]</b> |                         |
| <b>H<sub>2</sub>O</b> | 1.791                   | 99,50           |                  | 2.641                                  |                  | 262.818                 |
| <b>Total</b>          | <b>1.791</b>            | <b>99,50</b>    |                  |  |                  | <b>262.818</b>          |

Tabla 7.28 – Balance de Energía para Enfriador (ES – 1) : ( $Q_7$ )

#### 7.5.4. Etapa de Pirolisis: Torre de Absorción

- Balance de Energía:  $Q_8 + Q_9 = \Delta H_4 = 0$  [kJ/h] ecu. 7.51
- $Q_8 = Q_g + Q_h + Q_i$  ecu. 7.52
- $Q_g = \lambda_{AGUA} \cdot F_{6a}^m \cdot x_{AGUA}$  ecu. 7.53
- $Q_h = \lambda_{ALQUITRÁN} \cdot A_4^m \cdot x_{ALQUITRÁN}$  ecu. 7.54
- Suposiciones: Se considera que el sistema es adiabático, no hay pérdidas de calor hacia los alrededores, se toman las propiedades del Benceno para el alquitrán, si tenemos que:

| Componente            | Cantidad | Unidad    |
|-----------------------|----------|-----------|
| $\lambda_{ALQUITRÁN}$ | -33.850  | [kJ/kmol] |
| $\lambda_{AGUA}$      | -44.012  | [kJ/kmol] |

| FLUJO                 | NOMBRE  | UNIDAD    |
|-----------------------|---|-----------|
| $F_{6a}$              | Salida Gases Inter. Calor / Entrada Gases Torre Absorción (120 °C)      | [kg/h]    |
| $F_{6a}$              | Salida Gases Inter. Calor / Entrada Gases Torre Absorción (120 °C)      | [kmol/h]  |
| $A_4$                 | Entrada Agua Torre de Absorción (15 °C)                                 | [kg/h]    |
| $A_4$                 | Entrada Agua Torre de Absorción (15 °C)                                 | [kmol/h]  |
| $Q_g$                 | Calor Latente para llevar $H_2O(g)$ a $H_2O(l)$                         | [kj/h]    |
| $Q_h$                 | Calor Latente para llevar <i>Alquitrán(g)</i> a <i>Alquitrán(l)</i>     | [kj/h]    |
| $Q_i$                 | Calor Sensible Retirado para Enfriar ( $F_{6a}$ ) de 120 a 80 °C        | [kj/h]    |
| $Q_8$                 | Calor Total Retirado para Enfriar ( $F_{6a}$ ) de 120 a 80 °C           | [kj/h]    |
| $Q_9$                 | Calor Necesario para Calentar Agua Enfriamiento ( $A_2$ ) de 15 a 50 °C | [kj/h]    |
| $\Delta H_4$          | Calor Total Necesario ( $TA - 1$ ): Etapa de Pirolisis                  | [kj/h]    |
| $\lambda_{AGUA}$      | Calor Latente Agua a (100 °C y 1 atm)                                   | [kj/kmol] |
| $\lambda_{ALQUITRÁN}$ | Calor Latente Agua a (80 °C y 1 atm)                                    | [kj/kmol] |
| $x_{AGUA}$            | Fracción Molar de Agua en $F_{6a}^m$                                    |           |
| $x_{ALQUITRÁN}$       | Fracción Molar de Alquitrán en $F_{6a}^m$                               |           |

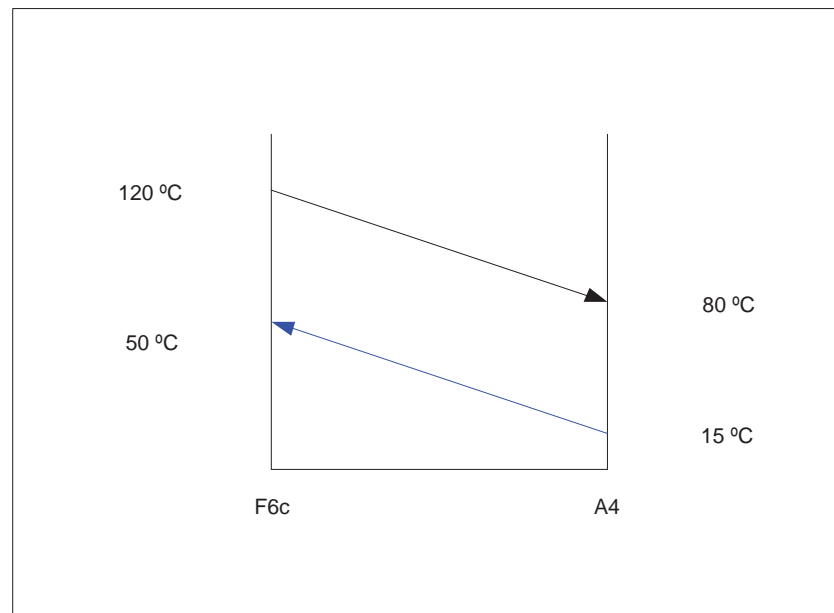


Figura 7.15 – Figura de Balance de Energía para Torre de Absorción (TR - 1).

$$- Q_g = \lambda_{AGUA} \cdot F_{6a}^m \cdot x_{AGUA} = -1.117.416 \text{ [kj/h]} \quad \text{ecu. 7.55}$$

$$- Q_h = \lambda_{ALQUITRÁN} \cdot A_4^m \cdot x_{ALQUITRÁN} = -49.907 \text{ [kj/h]} \quad \text{ecu. 7.56}$$



| <b>Flujo</b>                      |                    | <b><math>F_{6a}</math></b> |  |                  |                  |                         |
|-----------------------------------|--------------------|----------------------------|--|------------------|------------------|-------------------------|
| <b>T1</b>                         | <b>393</b>         |                            |  | <b>[K]</b>       |                  |                         |
| <b>T2</b>                         | <b>353</b>         |                            |  | <b>[K]</b>       |                  |                         |
| <b>Presión</b>                    | <b>2</b>           |                            |  | <b>[atm]</b>     |                  |                         |
| <b>Componente</b>                 | <b>Flujo Total</b> |                            | <b><math>C_p \cdot \Delta T</math></b> |                  |                  | <b><math>Q_i</math></b> |
|                                   | <b>[kg/h]</b>      | <b>[kmol/h]</b>            | <b>Sólido</b>                          | <b>Sólido</b>    | <b>Gaseoso</b>   |                         |
|                                   |                    |                            | <b>[kj/kmol]</b>                       | <b>[kj/kmol]</b> | <b>[kj/kmol]</b> | <b>[kj/h]</b>           |
| <b>CO<sub>2</sub></b>             | 379                | 8,61                       |  |                  | -1.667           | -14.359                 |
| <b>CO</b>                         | 139                | 4,96                       |  |                  | -1.184           | -5.880                  |
| <b>CH<sub>4</sub></b>             | 48                 | 3,00                       |  |                  | -1.592           | -4.777                  |
| <b>SO<sub>2</sub></b>             | 48                 | 0,75                       |  |                  | -1.948           | -1.461                  |
| <b>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></b> | 32                 | 1,14                       |  |                  | -2.056           | -2.349                  |
| <b>H<sub>2</sub></b>              | 22                 | 11,00                      |  |                  | -1.153           | -12.680                 |
| <b>H<sub>2</sub>O</b>             | 457                | 25,39                      |  | -1.520           | -683             | -55.937                 |
| <b>ALQUITRÁN</b>                  | 115                | 1,47                       |  | -1.558           | -3.157           | -6.952                  |
| <b>N<sub>2</sub></b>              | 834                | 29,79                      |  |                  | -1.174           | -34.967                 |
| <b>Total</b>                      | <b>2.074</b>       | <b>86,11</b>               |  |                  |                  | <b>-139.362</b>         |

Tabla 7.29 – Balance de Energía para Torre de Absorción (TR – 1) : ( $Q_i$ )

| <b>Flujo</b>          |                    | <b><math>A_4</math></b> |  |                  |                  |                         |
|-----------------------|--------------------|-------------------------|--|------------------|------------------|-------------------------|
| <b>T1</b>             | <b>288</b>         |                         |  | <b>[K]</b>       |                  |                         |
| <b>T2</b>             | <b>223</b>         |                         |  | <b>[K]</b>       |                  |                         |
| <b>Presión</b>        | <b>2</b>           |                         |  | <b>[atm]</b>     |                  |                         |
| <b>Componente</b>     | <b>Flujo Total</b> |                         | <b><math>C_p \cdot \Delta T</math></b> |                  |                  | <b><math>Q_9</math></b> |
|                       | <b>[kg/h]</b>      | <b>[kmol/h]</b>         | <b>Sólido</b>                          | <b>Líquido</b>   | <b>Gaseoso</b>   |                         |
|                       |                    |                         | <b>[kj/kmol]</b>                       | <b>[kj/kmol]</b> | <b>[kj/kmol]</b> | <b>[kj/h]</b>           |
| <b>H<sub>2</sub>O</b> | 8.905              | 494,71                  |  | 2.641            |                  | 1.306.684               |
| <b>Total</b>          | <b>8.905</b>       | <b>494,71</b>           |  |                  |                  | <b>1.306.684</b>        |

Tabla 7.30 – Balance de Energía para Torre de Absorción (TR – 1) : ( $Q_9$ )

## 7.5.5. Etapa de Activación: Horno Rotatorio

- Balance de Materia:
- $F_4 + A_V = F_2 + F_3 = 1.774 \text{ [kg/h]}$  ecu. 7.57
- Para la activación solo se necesita de carbón:
- $F_a = F_4 \cdot x_C^4 - F_2 \cdot x_C^2 = 112 \text{ [kg/h]}$  ecu. 7.58
- De vapor de agua tenemos  $A_V = 168 \text{ [kg/h]}$ . Para entregar  $F_{CO} = 261 \text{ [kg/h]}$  y  $F_{H_2} = 19 \text{ [kg/h]}$ , dado que se ingresa una razón de 3:1 de vapor, salen en  $F_3: 336 \text{ [kg/h]}$  de vapor de agua que no reaccionan, mas  $F_{CO}$  y  $F_{H_2}$  producidos, y  $18 \text{ [kg/h]}$  de humedad, para conservar el 4,04% de con que sale  $F_2: 46 \text{ [kg/h]}$  y  $F_2 \cdot x_C^2 = 1.094 \text{ [kg/h]}$
- En resumen como advertimos en la sección Balances de Materia Activación del Horno Rotatorio:

| <b>Componente</b>           | <b>ENTRADAS</b> |                 | <b>Total</b><br>[kg/h] | <b>SALIDAS</b>  |                 | <b>Total</b><br>[kg/h] |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|------------------------|-----------------|-----------------|------------------------|
|                             | $F_4$<br>[kg/h] | $A_V$<br>[kg/h] |                        | $F_3$<br>[kg/h] | $F_2$<br>[kg/h] |                        |
| <b>C</b>                    | 1.206           |                 | 1.206                  |                 | 1.094           | 1.094                  |
| <b>CO</b>                   |                 |                 |                        | 261             |                 | 261                    |
| <b>H<sub>2</sub></b>        |                 |                 |                        | 19              |                 | 19                     |
| <b>H<sub>2</sub>O (HUM)</b> | 64              |                 | 64                     | 18              | 46              | 64                     |
| <b>H<sub>2</sub>O (VAP)</b> |                 | 504             | 504                    | 336             |                 | 336                    |
| <b>Total</b>                | 1.270           | 504             | <b>1.774</b>           | 634             | 1.140           | <b>1.774</b>           |

Tabla 7.31 – Balance de Materia para Horno Rotatorio (H – 1).

- Entonces tenemos que del carbón y vapor reactivos se forma CO y H<sub>2</sub> como productos, así dividimos esta corriente de F<sub>3</sub> donde se agrupan en F<sub>a</sub> y el resto se identifica como F<sub>b</sub>. Donde este último se suma a F<sub>2</sub>.

| Componente                  | ENTRADAS        |                 | Total<br>[kg/h] | SALIDAS         |                 | Total<br>[kg/h] |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                             | $F_3$<br>[kg/h] | $F_2$<br>[kg/h] |                 | $F_a$<br>[kg/h] | $F_b$<br>[kg/h] |                 |
| <b>C</b>                    |                 | 1.094           | 1.094           |                 | 1.094           | 1.094           |
| <b>CO</b>                   | 261             |                 | 261             | 261             |                 | 261             |
| <b>H<sub>2</sub></b>        | 19              |                 | 19              | 19              |                 | 19              |
| <b>H<sub>2</sub>O (HUM)</b> | 18              | 46              | 64              |                 | 64              | 64              |
| <b>H<sub>2</sub>O (VAP)</b> | 336             |                 | 336             |                 | 336             | 336             |
| <b>Total</b>                | 634             | 1.140           | <b>1.774</b>    | 280             | 1.494           | <b>1.774</b>    |

Tabla 7.32 – Balance de Materia para Horno Rotatorio ( $H - 1$ ).

- Balance de Energía:  $Q_1 + Q_2 - Q_3 = \Delta H_1 = 3.462.806$  [kj/h] ecu. 7.59
- $Q_1 = \Delta H_R^\circ + Q_a$  ecu. 7.60
- $Q_2 = Q_b + Q_c$  ecu. 7.61
- $Q_c = \lambda_{AGUA} \cdot F_b^m \cdot x_{AGUA}^b + \lambda_{AGUA} \cdot F_b^m \cdot x_{VAPOR}^b$  ecu. 7.62
- $Q_3 = Q_d + Q_e$  ecu. 7.63
- $Q_e = \lambda_{AGUA} \cdot A_V^m \cdot x_{VAPOR}^V$  ecu. 7.64
- Suposiciones: Se considera que la reacción ocurre a 25 °C y el calor de reacción viene dado por bibliografía, si tenemos que:

| Componente         | Cantidad | Unidad    |
|--------------------|----------|-----------|
| $\Delta H_R^\circ$ | 10.941   | [kj/kg]   |
| $\lambda_{AGUA}$   | 44.012   | [kj/kmol] |

| FLUJO   | NOMBRE  | UNIDAD   |
|---------|---|----------|
| $F_a$   | Salida de Productos Activación de Horno Rotatorio (900 °C)  | [kg/h]   |
| $F_b^m$ | Salida Carbón Activo, Humedad y Vapor no Reactivos (900 °C) | [kmol/h] |
| $F_b$   | Salida Carbón Activo, Humedad y Vapor no Reactivos (900 °C) | [kg/h]   |
| $A_V^m$ | Entrada Vapor Activación de 25 a 150 °C                     | [kmol/h] |
| $A_V$   | Entrada Vapor Activación de 25 a 150 °C                     | [kg/h]   |

| FLUJO            | NOMBRE   | UNIDAD    |
|------------------|--|-----------|
| $Q_1$            | Calor Total Necesario llevar $F_a$ de 25 a 900 °C      | [kj/h]    |
| $Q_2$            | Calor Total Necesario llevar $F_b$ de 25 a 900 °C      | [kj/h]    |
| $Q_3$            | Calor Total Necesario llevar $A_V$ de 25 a 150 °C      | [kj/h]    |
| $\Delta H_R^o$   | Calor de Reacción Activación a 25 °C                   | [kg/h]    |
| $\Delta H_1$     | Calor Total Necesario ( $H - 1$ ): Etapa de Activación | [kj/h]    |
| $Q_a$            | Calor Sensible Necesario llevar $F_a$ de 25 a 900 °C   | [kj/h]    |
| $Q_b$            | Calor Sensible Necesario llevar $F_b$ de 25 a 900 °C   | [kj/h]    |
| $Q_c$            | Calor Latente Necesario llevar $F_b$ de 25 a 900 °C    | [kj/h]    |
| $Q_d$            | Calor Sensible Necesario llevar $A_V$ de 25 a 150 °C   | [kj/h]    |
| $Q_e$            | Calor Latente Necesario llevar $A_V$ de 25 a 150 °C    | [kj/h]    |
| $\lambda_{AGUA}$ | Calor Latente para llevar $H_2O(l)$ a $H_2O(g)$        | [kj/kmol] |
| $x_{AGUA}^b$     | Fracción Molar de Agua de Humedad en $F_b^m$           |           |
| $x_{VAPOR}^b$    | Fracción Molar de Agua de Vapor en $F_b^m$             |           |
| $x_{VAPOR}^V$    | Fracción Molar de Agua en $A_V^m$                      |           |

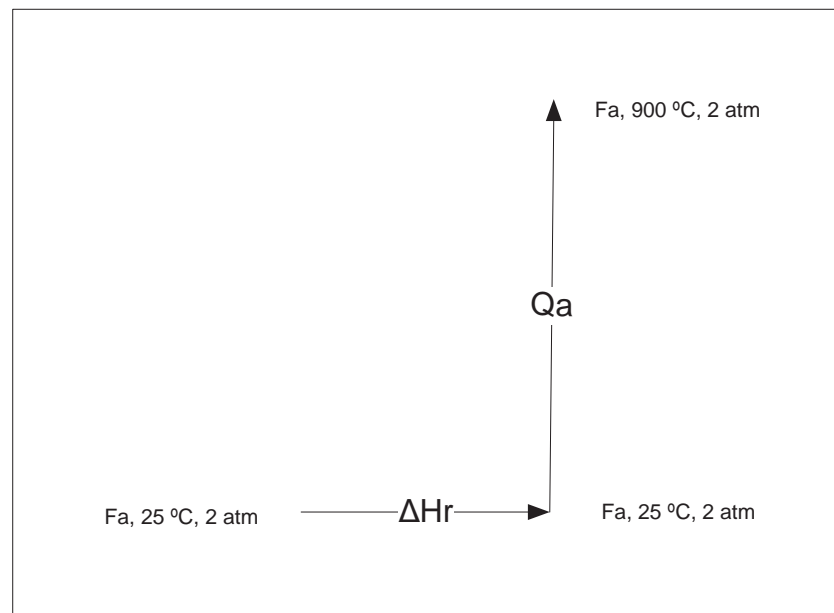


Figura 7.16 – Figura de Balance de Energía para Horno Rotatorio ( $H - 1$ ).

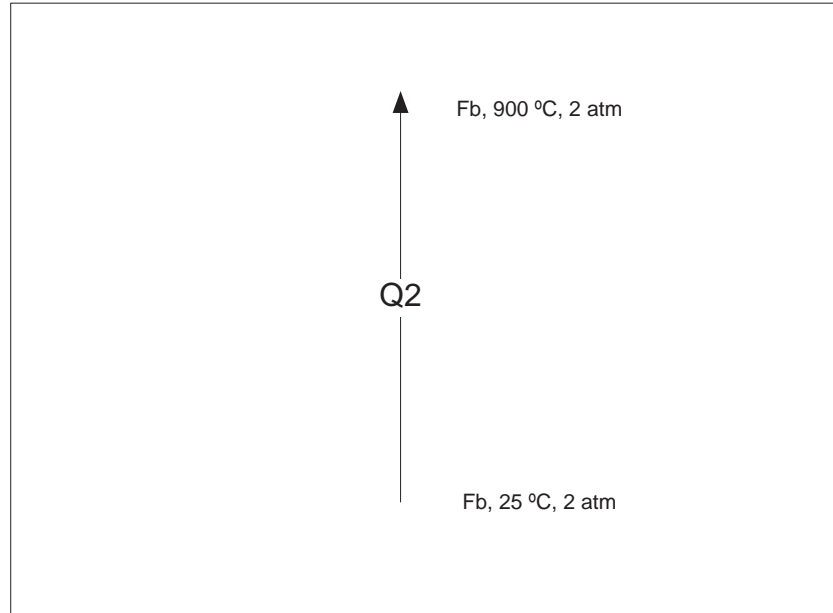


Figura 7.17 – Figura de Balance de Energía para Horno Rotatorio ( $H - 1$ ).

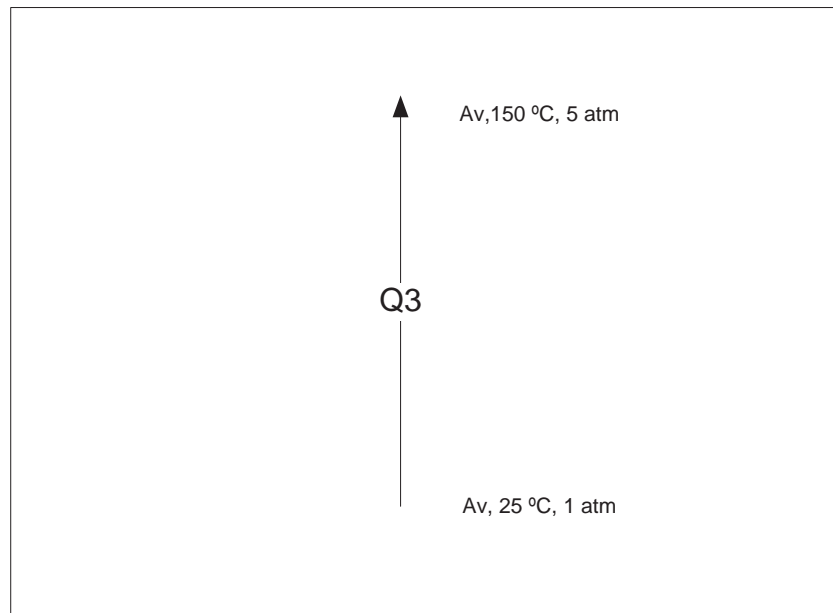


Figura 7.18 – Figura de Balance de Energía para Horno Rotatorio ( $H - 1$ ).

$$- Q_1 = \Delta H_R^o + Q_a = 1.729.141 \text{ [kj/h]} \quad \text{ecu. 7.65}$$

$$- Q_2 = Q_b + Q_c = 3.173.074 \text{ [kj/h]} \quad \text{ecu. 7.66}$$

$$- Q_c = \lambda_{AGUA} \cdot F_b^m \cdot x_{AGUA}^b + \lambda_{AGUA} \cdot F_b^m \cdot x_{VAPOR}^b = 978.044 \text{ [kj/h]} \quad \text{ecu. 7.67}$$

$$- Q_3 = Q_d + Q_e = 1.439.408 \text{ [kj/h]} \quad \text{ecu. 7.68}$$

$$- Q_e = \lambda_{AGUA} \cdot A_V^m \cdot x_{VAPOR}^V = 1.232.336 \text{ [kj/h]} \quad \text{ecu. 7.69}$$

| <b>Flujo</b>         |                    | <b><math>F_a</math></b> |  |                  |                  |                         |
|----------------------|--------------------|-------------------------|--|------------------|------------------|-------------------------|
| <b>T1</b>            | <b>298</b>         |                         | <b>[K]</b>                             |                  |                  |                         |
| <b>T2</b>            | <b>1173</b>        |                         | <b>[K]</b>                             |                  |                  |                         |
| <b>Presión</b>       | <b>2</b>           |                         | <b>[atm]</b>                           |                  |                  |                         |
| <b>Componente</b>    | <b>Flujo Total</b> |                         | <b><math>C_p \cdot \Delta T</math></b> |                  |                  | <b><math>Q_a</math></b> |
|                      | <b>[kg/h]</b>      | <b>[kmol/h]</b>         | <b>Sólido</b>                          | <b>Líquido</b>   | <b>Gaseoso</b>   |                         |
|                      |                    |                         | <b>[kj/kmol]</b>                       | <b>[kj/kmol]</b> | <b>[kj/kmol]</b> | <b>[kj/h]</b>           |
| <b>CO</b>            | 261                | 9,32                    |  |                  | 27.475           | 256.109                 |
| <b>H<sub>2</sub></b> | 19                 | 9,50                    |  |                  | 26.066           | 247.630                 |
| <b>Total</b>         | <b>280</b>         | <b>18,82</b>            |  |                  |                  | <b>503.739</b>          |

Tabla 7.33 – Balance de Energía para Horno Rotatorio (H – 1) : ( $Q_a$ )

| <b>Flujo</b>                |                    | <b><math>F_b</math></b> |  |                  |                  |                         |
|-----------------------------|--------------------|-------------------------|--|------------------|------------------|-------------------------|
| <b>T1</b>                   | <b>298</b>         |                         | <b>[K]</b>                             |                  |                  |                         |
| <b>T2</b>                   | <b>1173</b>        |                         | <b>[K]</b>                             |                  |                  |                         |
| <b>Presión</b>              | <b>2</b>           |                         | <b>[atm]</b>                           |                  |                  |                         |
| <b>Componente</b>           | <b>Flujo Total</b> |                         | <b><math>C_p \cdot \Delta T</math></b> |                  |                  | <b><math>Q_b</math></b> |
|                             | <b>[kg/h]</b>      | <b>[kmol/h]</b>         | <b>Sólido</b>                          | <b>Líquido</b>   | <b>Gaseoso</b>   |                         |
|                             |                    |                         | <b>[kj/kmol]</b>                       | <b>[kj/kmol]</b> | <b>[kj/kmol]</b> | <b>[kj/h]</b>           |
| <b>C</b>                    | 1.094              | 91,17                   | 15.205                                 |                  |                  | 1.386.145               |
| <b>H<sub>2</sub>O (HUM)</b> | 64                 | 3,56                    |  | 5.681            | 30.719           | 129.421                 |
| <b>H<sub>2</sub>O (VAP)</b> | 336                | 18,67                   |  | 5.681            | 30.719           | 679.463                 |
| <b>Total</b>                | <b>1.494</b>       | <b>113,40</b>           |  |                  |                  | <b>2.195.029</b>        |

Tabla 7.34 – Balance de Energía para Horno Rotatorio (H – 1) : ( $Q_b$ )

|                    |                         |                 |                  |  |                  |                         |
|--------------------|-------------------------|-----------------|------------------|--|------------------|-------------------------|
| <b>Flujo</b>       | <b><math>A_v</math></b> |                 |                  |  |                  |                         |
| <b>T1</b>          | <b>298</b>              |                 | <b>[K]</b>       |  |                  |                         |
| <b>T2</b>          | <b>423</b>              |                 | <b>[K]</b>       |  |                  |                         |
| <b>Presión</b>     | <b>5</b>                |                 | <b>[atm]</b>     |  |                  |                         |
| <b>Componente</b>  | <b>Flujo Total</b>      |                 | <b>Sólido</b>    | <b><math>C_p \cdot \Delta T</math></b> |                  | <b><math>Q_d</math></b> |
|                    | <b>[kg/h]</b>           | <b>[kmol/h]</b> |                  | <b>Líquido</b>                         | <b>Gaseoso</b>   |                         |
|                    |                         |                 | <b>[kJ/kmol]</b> | <b>[kJ/kmol]</b>                       | <b>[kJ/kmol]</b> | <b>[kJ/h]</b>           |
| <b>H2O (VAPOR)</b> | 504                     | 28,00           |                  | 5.681                                  | 1.714            | 207.072                 |
| <b>Total</b>       | <b>504</b>              | <b>28,00</b>    |                  |  |                  | <b>207.072</b>          |

Tabla 7.35 – Balance de Energía para Horno Rotatorio (H – 1) : ( $Q_d$ )

### 7.5.6. Etapa de Activación: Inter. de Calor

- Balance de Energía:  $Q_4 + Q_5 = \Delta H_2 = 0$  [kJ/h] ecu. 7.70
- Suposiciones: Se considera que el sistema es adiabático, no hay pérdidas de calor hacia los alrededores, si tenemos que:

| FLUJO        | NOMBRE  | UNIDAD   |
|--------------|---|----------|
| $F_6^m$      | Entrada Gases Inter. Calor (900 °C)                         | [kmol/h] |
| $F_6$        | Entrada Gases Inter. Calor (900 °C)                         | [kg/h]   |
| $A_3$        | Entrada Agua Inter. Calor (15 °C)                           | [kg/h]   |
| $Q_4$        | Calor Total Retirado para Enfriar ( $F_6$ ) de 900 a 120 °C | [kJ/h]   |
| $Q_5$        | Calor Total Entregado para Calentar ( $A_3$ ) de 15 a 50 °C | [kJ/h]   |
| $\Delta H_2$ | Calor Total (IC – 1): Etapa de Activación                   | [kJ/h]   |

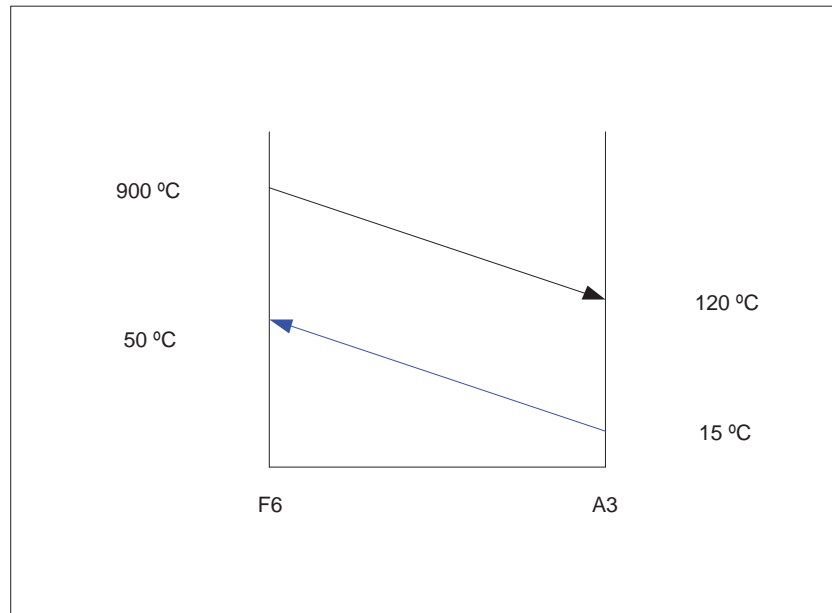


Figura 7.19 – Figura de Balance de Energía para Inter. De Calor (IC – 1).

| <i>Flujo</i>      | $F_6$              |               | $C_p \cdot \Delta T$ |                |                | $Q_4$             |
|-------------------|--------------------|---------------|----------------------|----------------|----------------|-------------------|
| <i>T1</i>         | 1173               | [K]           |                      |                |                |                   |
| <i>T2</i>         | 393                | [K]           |                      |                |                |                   |
| <i>Presión</i>    | 1                  | [atm]         |                      |                |                |                   |
| <i>Componente</i> | <i>Flujo Total</i> |               | <i>Sólido</i>        | <i>Líquido</i> | <i>Gaseoso</i> | $Q_4$             |
|                   | [kg/h]             | [kmol/h]      |                      |                |                |                   |
| $CO_2$            | 690                | 15,68         |                      |                | -39.067        | -612.638          |
| $CO$              | 261                | 9,32          |                      |                | -24.678        | -230.032          |
| $H_2$             | 19                 | 9,50          |                      |                | -23.329        | -221.626          |
| $N_2$             | 2.441              | 87,18         |                      |                | -24.338        | -2.121.742        |
| $H_2O$            | 624                | 34,67         |                      |                | -30.036        | -1.041.232        |
| <b>Total</b>      | <b>4.035</b>       | <b>156,35</b> |                      |                |                | <b>-4.227.270</b> |

Tabla 7.36 – Balance de Energía para Inter. De Calor (IC – 1) : ( $Q_4$ )



|                       |                      |                 |                            |                             |                             |                      |
|-----------------------|----------------------|-----------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|
| <b>Flujo</b>          | <b>A<sub>3</sub></b> |                 |                            |                             |                             |                      |
| <b>T1</b>             | <b>288</b>           | [K]             |                            |                             |                             |                      |
| <b>T2</b>             | <b>323</b>           | [K]             |                            |                             |                             |                      |
| <b>Presión</b>        | <b>1</b>             | [atm]           |                            |                             |                             |                      |
| <b>Componente</b>     | <b>Flujo Total</b>   |                 | <b>Cp · ΔT</b>             |                             |                             | <b>Q<sub>5</sub></b> |
|                       | [kg/h]               | [kmol/h]        | <b>Sólido</b><br>[kJ/kmol] | <b>Líquido</b><br>[kJ/kmol] | <b>Gaseoso</b><br>[kJ/kmol] |                      |
| <b>H<sub>2</sub>O</b> | 28.808               | 1.600,43        |                            | 2.641                       |                             | 4.227.270            |
| <b>Total</b>          | <b>28.808</b>        | <b>1.600,43</b> |                            |                             |                             | <b>4.227.270</b>     |

Tabla 7.37 – Balance de Energía para Inter. De Calor (IC – 1) : (Q<sub>5</sub>)

### 7.5.7. Etapa de Activación: Enfriador

- Balance de Energía:  $Q_6 + Q_7 = \Delta H_3 = 0$  [kJ/h] ecu. 7.71
- $Q_6 = Q_f + Q_g$  [kJ/h] ecu. 7.72
- $Q_g = \lambda_{AGUA} \cdot F_2^m \cdot x_{AGUA}$  [kJ/h] ecu. 7.73
- Suposiciones: Se considera que el sistema es adiabático, no hay pérdidas de calor hacia los alrededores, si tenemos que:

| FLUJO            | NOMBRE  | UNIDAD    |
|------------------|---|-----------|
| $F_2^m$          | Salida Carbón Natural Horno Rotatorio (900 °C)                          | [kmol/h]  |
| $F_2$            | Salida Carbón Natural Horno Rotatorio (900 °C)                          | [kg/h]    |
| $A_2$            | Entrada Agua Enfriador (15 °C)  | [kg/h]    |
| $Q_6$            | Calor Total Retirado para Enfriar ( $F_2$ ) de 900 a 25 °C              | [kJ/h]    |
| $Q_7$            | Calor Necesario para Calentar Agua Enfriamiento ( $A_2$ ) de 15 a 50 °C | [kJ/h]    |
| $\Delta H_3$     | Calor Total Necesario (ES – 1): Etapa de Activación                     | [kJ/h]    |
| $Q_f$            | Calor Sensible Necesario para Enfriar ( $F_2$ ) de 500 a 25 °C          | [kJ/h]    |
| $Q_g$            | Calor Latente Agua a (100 °C y 1 atm)                                   | [kJ/h]    |
| $\lambda_{AGUA}$ | Calor Latente para llevar $H_2O(g)$ a $H_2O(l)$                         | [kJ/kmol] |
| $x_{AGUA}$       | Fracción Molar de Agua en $F_2^m$                                       |           |

| Componente       | Cantidad | Unidad    |
|------------------|----------|-----------|
| $\lambda_{AGUA}$ | -44.012  | [kj/kmol] |

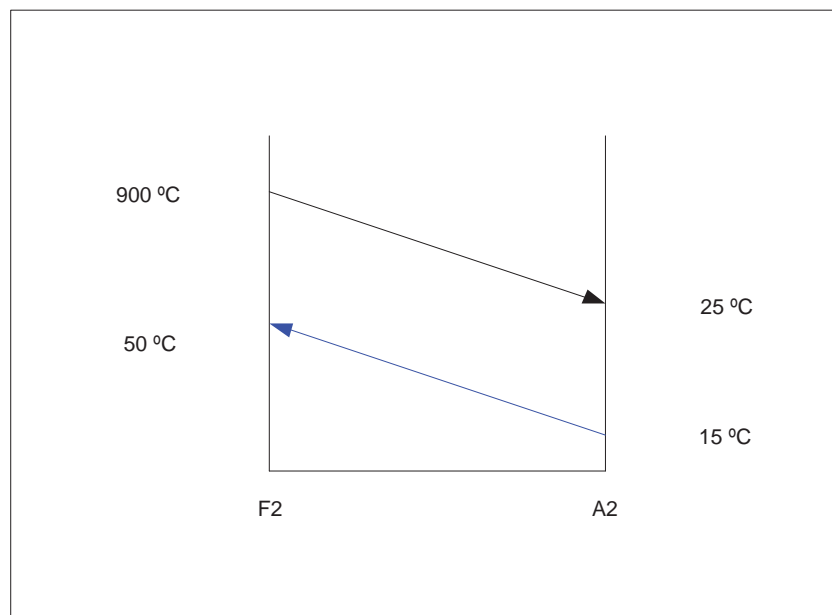


Figura 7.20 – Figura de Balance de Energía para Enfriador (ES – 1).

$$- Q_g = \lambda_{AGUA} \cdot F_2^m \cdot x_{AGUA} = -112.475 \text{ [kj/h]} \quad \text{ecu. 7.74}$$

| Componente            | Flujo Total  |              | $C_p \cdot \Delta T$ |                      |                      | $Q_f$<br>[kj/h]   |
|-----------------------|--------------|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------|
|                       | [kg/h]       | [kmol/h]     | Sólido<br>[kj/kmol]  | Líquido<br>[kj/kmol] | Gaseoso<br>[kj/kmol] |                   |
| <i>C</i>              | 1.094        | 91,17        | -15.205              |                      |                      | -1.386.145        |
| <i>H<sub>2</sub>O</i> | 46           | 2,56         |                      | -5.681               | -30.719              | -93.022           |
| <b>Total</b>          | <b>1.140</b> | <b>93,73</b> |                      |                      |                      | <b>-1.479.167</b> |

Tabla 7.38 – Balance de Energía para Enfriador (ES – 1) : ( $Q_f$ )

|                       |                      |                |                |           |           |                      |
|-----------------------|----------------------|----------------|----------------|-----------|-----------|----------------------|
| <b>Flujo</b>          | <b>A<sub>2</sub></b> |                |                |           |           |                      |
| <b>T1</b>             | <b>288</b>           | [K]            |                |           |           |                      |
| <b>T2</b>             | <b>323</b>           | [K]            |                |           |           |                      |
| <b>Presión</b>        | <b>1</b>             | [atm]          |                |           |           |                      |
| <b>Componente</b>     | <b>Flujo Total</b>   |                | <b>Cp · ΔT</b> |           |           | <b>Q<sub>7</sub></b> |
|                       | <b>Sólido</b>        | <b>Líquido</b> | <b>Gaseoso</b> |           |           |                      |
|                       | [kg/h]               | [kmol/h]       | [kj/kmol]      | [kj/kmol] | [kj/kmol] | [kj/h]               |
| <b>H<sub>2</sub>O</b> | 10.847               | 602,59         |                | 2.641     |           | 1.591.642            |
| <b>Total</b>          | <b>10.847</b>        | <b>602,59</b>  |                |           |           | <b>1.591.642</b>     |

Tabla 7.39 – Balance de Energía para Enfriador (ES – 1) : (Q<sub>7</sub>)

### 7.5.8. Etapa de Activación: Torre de Absorción

- Balance de Energía:  $Q_8 + Q_9 = \Delta H_4 = 0$  [kj/h] ecu. 7.75
- $Q_8 = Q_h + Q_i$  [kj/h] ecu. 7.76
- $Q_h = \lambda_{AGUA} \cdot F_{6a}^m \cdot x_{AGUA}$  [kj/h] ecu. 7.77
- Suposiciones: Se considera que el sistema es adiabático, no hay pérdidas de calor hacia los alrededores, si tenemos que:

| FLUJO            | NOMBRE  | UNIDAD    |
|------------------|---|-----------|
| $F_{6a}$         | Salida Gases Inter. Calor / Entrada Gases Torre Absorción (120 °C)      | [kg/h]    |
| $F_{6a}$         | Salida Gases Inter. Calor / Entrada Gases Torre Absorción (120 °C)      | [kmol/h]  |
| $A_4$            | Entrada Agua Torre de Absorción (15 °C)                                 | [kg/h]    |
| $A_4$            | Entrada Agua Torre de Absorción (15 °C)                                 | [kmol/h]  |
| $Q_h$            | Calor Latente para llevar $H_2O$ (g) a $H_2O$ (l)                       | [kj/h]    |
| $Q_i$            | Calor Sensible Retirado para Enfriar ( $F_{6a}$ ) de 120 a 80 °C        | [kj/h]    |
| $Q_8$            | Calor Total Retirado para Enfriar ( $F_{6a}$ ) de 120 a 80 °C           | [kj/h]    |
| $Q_9$            | Calor Necesario para Calentar Agua Enfriamiento ( $A_2$ ) de 15 a 50 °C | [kj/h]    |
| $\Delta H_4$     | Calor Total Necesario (TA – 1): Etapa de Activación                     | [kj/h]    |
| $\lambda_{AGUA}$ | Calor Latente Agua a (100 °C y 1 atm)                                   | [kj/kmol] |
| $x_{AGUA}$       | Fracción Molar de Agua en $F_{6a}^m$                                    |           |

| Componente       | Cantidad | Unidad    |
|------------------|----------|-----------|
| $\lambda_{AGUA}$ | -44.012  | [kj/kmol] |

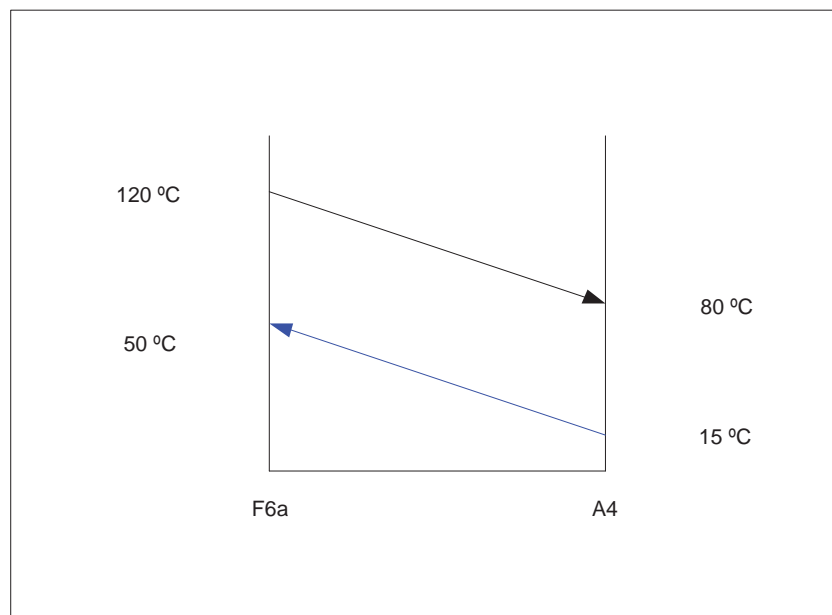


Figura 7.21 – Figura de Balance de Energía para Torre de Absorción (TR – 1).

$$- Q_h = \lambda_{AGUA} \cdot F_{6a}^m \cdot x_{AGUA} = 1.525.749 [kj/h] \quad \text{ecu. 7.78}$$

| <b>Flujo</b>          |                    | <b>A<sub>4</sub></b> |                  |                  |                  |                      |  |  |  |
|-----------------------|--------------------|----------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------|--|--|--|
| <b>T1</b>             | <b>288</b>         |                      | [K]              |                  |                  |                      |  |  |  |
| <b>T2</b>             | <b>323</b>         |                      | [K]              |                  |                  |                      |  |  |  |
| <b>Presión</b>        | <b>2</b>           |                      | [atm]            |                  |                  |                      |  |  |  |
| <b>Componente</b>     | <b>Flujo Total</b> |                      | <b>Cp · ΔT</b>   |                  |                  | <b>Q<sub>9</sub></b> |  |  |  |
|                       | <b>[kg/h]</b>      | <b>[kmol/h]</b>      | <b>Sólido</b>    | <b>Líquido</b>   | <b>Gaseoso</b>   |                      |  |  |  |
|                       |                    |                      | <b>[kj/kmol]</b> | <b>[kj/kmol]</b> | <b>[kj/kmol]</b> | <b>[kj/h]</b>        |  |  |  |
| <b>H<sub>2</sub>O</b> | 11.944             | 663,53               |                  | 2.641            |                  | 1.752.603            |  |  |  |
| <b>Total</b>          | <b>11.944</b>      | <b>663,53</b>        |                  |                  |                  | <b>1.752.603</b>     |  |  |  |

Tabla 7.40 – Balance de Energía para Torre de Absorción (TR – 1) : (Q<sub>9</sub>)

| <b>Flujo</b>          | <b><math>F_{6a}</math></b> |                 |  |                  |                  |                         |
|-----------------------|----------------------------|-----------------|--|------------------|------------------|-------------------------|
| <b>T1</b>             | <b>393</b>                 |                 | <b>[K]</b>                             |                  |                  |                         |
| <b>T2</b>             | <b>353</b>                 |                 | <b>[K]</b>                             |                  |                  |                         |
| <b>Presión</b>        | <b>2</b>                   |                 | <b>[atm]</b>                           |                  |                  |                         |
| <b>Componente</b>     | <b>Flujo Total</b>         |                 | <b><math>C_p \cdot \Delta T</math></b> |                  |                  | <b><math>Q_i</math></b> |
|                       | <b>[kg/h]</b>              | <b>[kmol/h]</b> | <b>Sólido</b>                          | <b>Sólido</b>    | <b>Gaseoso</b>   |                         |
|                       |                            |                 | <b>[kJ/kmol]</b>                       | <b>[kJ/kmol]</b> | <b>[kJ/kmol]</b> | <b>[kJ/h]</b>           |
| <b>CO<sub>2</sub></b> | 690                        | 15,68           |  |                  | -1.667           | -26.142                 |
| <b>CO</b>             | 261                        | 9,32            |  |                  | -1.184           | -11.040                 |
| <b>H<sub>2</sub></b>  | 19                         | 9,50            |  |                  | -1.153           | -10.951                 |
| <b>N<sub>2</sub></b>  | 2.441                      | 87,18           |  |                  | -1.174           | -102.343                |
| <b>H<sub>2</sub>O</b> | 624                        | 34,67           |  | -1.520           | -683             | -76.377                 |
| <b>Total</b>          | <b>4.035</b>               | <b>156,35</b>   |  |                  |                  | <b>-226.853</b>         |

Tabla 7.41 – Balance de Energía para Torre de Absorción (TR – 1) : ( $Q_i$ )

## 7.6 Resumen Capítulo VII

En el presente capítulo se encuentra el diseño de procesos cuantitativo, donde se determinaron de manera paralela y simultánea los balances de materia y energía del proceso productivo, entregando el Flowsheet final, equipos principales, secundarios, necesarios para el proceso. Las mayores pérdidas del proceso se producen en la parte de pirolisis de la biomasa aportada como precursor (cáscaras de nueces) donde una excesiva cantidad de calor aportada por el fuel diesel, también aumentará los gastos energéticos y esto aumentará los costos, se debe tener en cuenta que las temperaturas máximas para la etapa de pirolisis dentro del horno rotatorio son de 550 °C, para obtener una masa de carbonizado homogéneo y estándar a lo largo del ciclo productivo. Se debe tener en cuenta que las cantidades de vapor de agua aportadas en la etapa de activación deben ser siempre superiores a la estequiométrica, para poder lograr una reacción adecuada, y así obtener un producto que cumpla con los requerimientos de absorción de sus similares comerciales. En relación al agua industrial necesaria para el lavado de gases de pirolisis, lavado de gases de activación, generación de vapor de agua y enfriamiento, se recomienda reutilizar el agua del pozo acumulador, siempre y cuando esta agua industrial, cumpla con las exigencias de proceso, en temperatura e impurezas. Para el capítulo VIII, se encuentra el diseño de equipos de proceso, tanto principales, secundarios y anexos. Se incluirán reseñas acerca de equipos cotizables que se encuentran en el mercado nacional e internacional.

## 7.7 Bibliografía

1. Reklaitis, G. V. Schneider, Daniel R. 1989. **Balance de Materia y Energía.** Ed. McGraw-Hill, 1ª Edición. Ciudad de México, México.
2. Smith, Joseph M. Van Ness, Hendrick C. Abbott, Michael M. 1997. **Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química.** Ed. McGraw-Hill, 5ª Edición. Ciudad de México, México.
3. Brown, George G. 1955. **Operaciones Básicas de la Ingeniería Química.** Ed. Marín. Barcelona, España.
4. Perry, John H. 1966. **Manual del Ingeniero Químico.** UTEHA, 3ª Edición, Tomo 1. Ciudad de México, México.
5. Reid, Robert C. Sherwood, Thomas K. 1968. **Propiedades de los Gases y Líquidos: su Estimación y Correlación.** UTEHA, 1ª Edición. Ciudad de México, México.
6. Welty, James R. 1978. **Transferencia de Calor aplicada a la Ingeniería.** Ed. Limusa. Ciudad de México, México.
7. Chopey, Nicholas P. Hicks, Tyler G. 1986. **Manual de Cálculos de Ingeniería Química.** Ed. McGraw-Hill, 1ª Edición. Ciudad de México, México.
8. Reklaitis, G. V. Schneider, Daniel R. 1989. **Balance de Materia y Energía.** Ed. McGraw-Hill, 1ª Edición. Ciudad de México, México.

9. Smith, Joseph M. Van Ness, Hendrick C. Abbott, Michael M. 1997. **Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química.** Ed. McGraw-Hill, 5ª Edición. Ciudad de México, México.



## ***CAPÍTULO VIII***

### ***- Selección y Diseño de Equipos -***

## **8.1        Introducción**

Se diseñarán los equipos en base a las cantidades críticas o máximas para la planta. Se describen a continuación los diseños y recomendaciones para los distintos equipos auxiliares, bodegas, silos, correas transportadoras y equipos principales del proceso, con los cuales se pueda operar tanto en la etapa de pirolisis de las cáscaras de nueces y la etapa de activación del carbón natural obtenido.

## 8.2 Equipos Auxiliares

| CÓDIGO                     | EQUIPOS AUXILIARES                       |
|----------------------------|--|
| <i>PC – 1</i>              | Pozo Colector de Agua Industrial         |
| <i>ET – AG<sub>1</sub></i> | Estanque Distribución de Agua Industrial |
| <i>ET – AG<sub>2</sub></i> | Estanque Distribución de Fuel Diesel     |
| <i>E – 1</i>               | Chancador Materia Prima                  |
| <i>E – 2a</i>              | Dosificador Material a Bodega            |
| <i>E – 2b</i>              | Dosificador Material a Horno Rotatorio   |
| <i>E – 3</i>               | Molino Carbón Activado                   |
| <i>E – 4</i>               | Cargador Frontal                         |
| <i>TT – 4</i>              | Transformador Trifásico                  |

Tabla 8.1 – Equipos Auxiliares.

### 8.2.1 Pozo Colector (PC – 1)

El pozo colector de agua industrial, como se muestra en la **Figura 8.1**, se diseñara en base a la cantidad mayor de agua presente en el proceso, se discutió en el capítulo anterior de balance de materia y energía que para la etapa de pirolisis la cantidad a ingresar en el pozo para el proceso de 3,56 días de producción de carbón natural y para la etapa de activación era 1 día de producción de carbón activo.

La cantidad ocupada en el proceso de pirolisis es alimentara en parte el agua necesaria para la etapa de activación, en suma para las dos etapas serán 1.819,65 [m<sup>3</sup>], donde se toma un volumen total de 2.000 [m<sup>3</sup>].

La suma necesaria para la etapa de pirolisis y activación con respecto al intercambiador de calor y enfriador se calculan de la siguiente manera:

- **Etapas de Activación:**

-  $V_p = L_1 \cdot L_2 \cdot h = 2.000$   $[m^3]$  ecu. 8.1

-  $L_1 = L_2 = 20$   $[m]$  ecu. 8.2

-  $h = 5,0$   $[m]$  ecu. 8.3

- **Volumen Total Pozo Colector Nominal:**

-  $V_n = 2.000$   $[m^3]$  ecu. 8.4

- **Área Carpeta de Revestimiento Pozo Colector:**

-  $A_p = \frac{V_n}{h} = 400$   $[m^2]$  ecu. 8.5

Donde:

- $V_p$  = Volumen total real pozo colector,  $[m^3]$
- $V_n$  = Volumen total nominal pozo colector,  $[m^3]$
- $L_1$  = Largo total pozo colector,  $[m]$
- $L_2$  = Ancho total pozo colector,  $[m]$
- $h$  = Altura total pozo colector,  $[m]$
- $A_p$  = Área total de carpeta de polietileno,  $[m^2]$

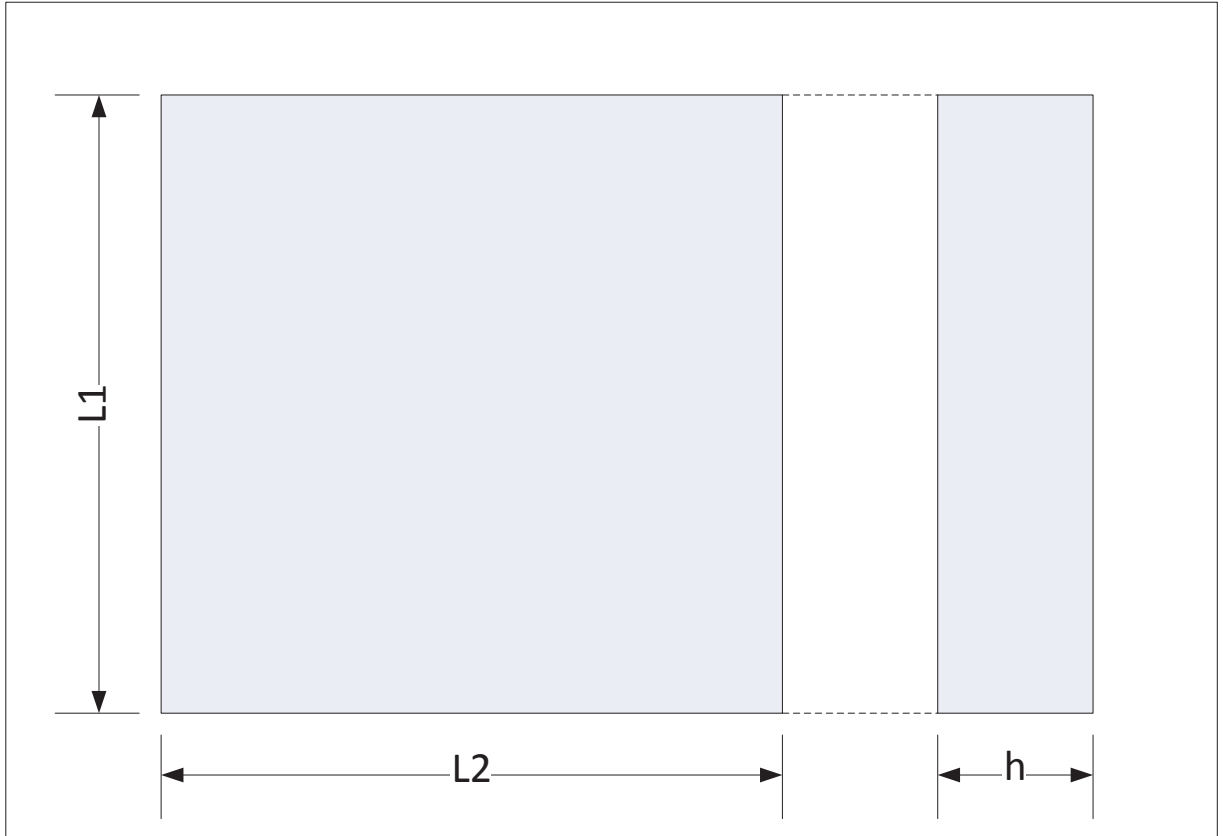


Figura 8.1 – Esquema Pozo Colector.

## 8.2.2 Estanques de Procesos

Se diseñan dos estanques de proceso, los cuales tienen la función de abastecer y distribuir agua y combustible al proceso de pirolisis y activación, se diseñan los equipos: Estanque de Agua y Estanque de Combustible.

### - Estanque Agua Industrial ( $ET - AG_1$ )

Un estanque acumulador para el almacenamiento para el  $H_2O$  utilizada para el intercambiador de calor, enfriador y torre de absorción tiene aproximadamente una capacidad para la etapa de pirolisis de  $19,20 [m^3/h]$ , y para la etapa de activación de  $51,60 [m^3/h]$ .

Para estimar el volumen del estanque, se hizo uso de la ecuación **ecu.8.6**, conociendo un diámetro común de estanque de  $3,5 [m]$ , se puede conocer tanto el área como la altura adecuada. Se decidió por un estanque de proceso que contemple una capacidad similar a la de la etapa de activación, la cual se fija en  $52,00 [m^3/h]$ .

### • Volumen de un Cilindro:

$$- V_C = A \cdot H_C = 52,00 \quad [m^3] \quad \text{ecu. 8.6}$$

$$- A_C = \pi \cdot \left(\frac{D_C}{2}\right)^2 = 9,62 \quad [m^2] \quad \text{ecu. 8.7}$$

$$- H_C = 5,41 \quad [m] \quad \text{ecu. 8.8}$$

Donde:

- $V_C$  = Volumen del cilindro, [ $m^3$ ]
- $A_C$  = Área del cilindro, [ $m^2$ ]
- $H_C$  = Altura del cilindro, [ $m$ ]
- $D_C$  = Diámetro del cilindro, [ $m$ ]

- **Nozzle de Alimentación y Descarga:** El área de flujo de los nozzle se calcula con la ecuación **ecu.8.9**, para cada uno de los flujos de líquido y gases involucrados, si las velocidades recomendadas fluctúan entre 4 - 10 [ $pies/s$ ] para líquidos, 33 - 49 [ $pies/s$ ] para vapor saturado y de 80 - 120 [ $pies/s$ ] para gases, ó 1,2 - 3 [ $m/s$ ] para líquidos, 10 - 15 [ $m/s$ ] para vapor saturado y de 25 - 37 [ $m/s$ ] de para gases, como muestra la **Tabla 2 del Anexo V**, se diseñan en base a los flujos mayores, de la etapa de activación:

$$- A = \frac{G}{\rho \cdot v} \quad [m^2] \quad \text{ecu. 8.9}$$

$$- D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \quad [m] \quad \text{ecu. 8.10}$$

Donde:

- $A$  = Área del nozzle, [ $m^2$ ]
- $G$  = Flujo másico, [ $kg/s$ ]
- $\rho$  = Densidad del fluido, [ $kg/m^3$ ]
- $v$  = Velocidad del fluido, [ $m/s$ ]
- $D$  = Diámetro del nozzle, [ $m$ ]
- Una vez calculado debe ser estandarizado.

- **Nozzle de Instrumentación:** Se utilizan nozzles roscados de 3/4 [in] de diámetro.
- **Nozzle de Drenaje:** Se utilizan nozzles roscados de 1 1/2 [in] de diámetro.
- **Manhole:** El diámetro del manhole debe ser lo suficientemente grande para que se introduzca un hombre. Los diámetros de manhole estandarizados son de 20 y 24 [in]. El espesor de la tapa del manhole se calcula con la siguiente expresión:

$$- t_{manhole} = d \cdot \sqrt{\frac{C_c \cdot P}{\sigma_{adm}}} + c \quad [mm] \quad \text{ecu. 8.11}$$

$$- \sigma_{adm} = \frac{\sigma_{ela}}{n} \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.12}$$

Donde:

- $t_{manhole}$  = Espesor de la tapa, [mm]
- $d$  = Diámetro del manhole, [m]
- $C_c$  = Constante
- $E$  = Eficiencia de soldadura, (no hay soldadura)
- $P$  = Presión de diseño, [bar]
- $\sigma_{adm}$  = Esfuerzo admisible del material, [bar]
- $\sigma_{ela}$  = Esfuerzo máximo, límite elástico del material, [bar]
- $n = 4$ , Factor de seguridad del material
- $c$  = Espesor de seguridad por corrosión, 2,0 [mm]



- **Espesor del Manto.**
- **Temperatura de Operación:** Para el diseño del equipo se considera la temperatura más alta alcanzada, pero al ser atmosférico esta no excede los 40 °C.
- **Presión de Operación:** La presión de operación, será la ejercida por el líquido (agua industrial) almacenado sobre la carcaza, por lo que el diseño será a presión interna. Según la siguiente ecuación:

$$- P_i = \rho \cdot g \cdot h \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.13}$$

$$- P = P_i - P_{atm} \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.14}$$

Donde:

- $P_i$  = Presión interna total, [bar]
- $P_{atm}$  = Presión atmosférica, [bar]
- $P$  = Presión de diseño, [bar]
- $\rho$  = Densidad material relleno, [kg/m<sup>3</sup>]
- $g$  = Constante aceleración gravedad, [m/s<sup>2</sup>]
- $h$  = Altura de relleno, [m]

- **Diseño Mecánico:** Se diseña el equipo cilíndrico a presión interna.
- **Determinación de Material:** Todo el equipo y los utensilios empleados en las áreas de manipulación de productos y que puedan entrar en contacto con ellos, deben ser de un material que no transmita sustancias tóxicas, olores ni sabores, resistente a la corrosión, y capaz de resistir repetidas operaciones de limpieza y desinfección. El caso específico de la industria de los alimentos, el material más

recomendado, es el acero inoxidable, especialmente para las superficies que entran en contacto con el alimento. La característica de poder ser pulido con facilidad, lo señala como ideal para obtener una superficie lisa y de fácil limpieza. En general los tipos AISI 304 y 316 son los más recomendados. Cuando hay que hacer soldaduras se recomienda los tipos AISI 304L y 316L, para evitar la corrosión intergranular, especialmente para los procesos de limpieza "in situ" y en tanques o recipientes donde se almacenan materias primas o productos a granel. Basados en éste análisis, y considerando la relación resistencia costo más conveniente el material seleccionado fue: AISI 304L. Se emplea en el forjado, estampado y mecanizado de piezas mecánicas diversas para la industria química.

| Composición<br>Química (%) |      |      |      |      |      |       | Limite<br>Elástico | T° máx | Resistencia<br>corrosión |
|----------------------------|------|------|------|------|------|-------|--------------------|--------|--------------------------|
| C                          | Mn   | Cr   | Ni   | Mo   | Si   | Otros | (Kpsi)             | (°C)   | (Comentario)             |
| 0,03                       | 2,00 | 18,5 | 10,0 | 0,00 | 1,00 | Cb    | 75                 | 800    | Excelente                |

**Tabla 8.2 – Características Físico – Químicas Material AISI 304L.**

- **Diseño de Cilindro a Presión Interna:** Para la determinación del espesor de carcasa utilizaremos la presión generada por el sólido almacenado, se utiliza la ecuación ASME de diseño a presión interna:

$$- t_{manto} = \frac{P \cdot r_i}{\sigma_{adm} \cdot E - 0,6 \cdot P} + c \quad [mm] \quad \text{ecu. 8.15}$$

$$- \sigma_{adm} = \frac{\sigma_{ela}}{n} \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.16}$$

$$- \frac{r_i}{t} \geq 5 \quad \text{ecu. 8.17}$$

Donde:

- $t_{manto}$  = Espesor del manto, [mm]
- $P$  = Presión de diseño, [bar]
- $\sigma_{adm}$  = Esfuerzo admisible del material, [bar]
- $\sigma_{ela}$  = Esfuerzo máximo, límite elástico del material, [bar]
- $E$  = Eficiencia de soldadura 0,9.
- $r_i$  = Radio interno, [mm]
- $n = 3$ , Factor de seguridad del material.
- $c$  = Espesor de seguridad por corrosión, 2,0 [mm]

- **Estanque de Agua**

|                   |                         |
|-------------------|-------------------------|
| Material          | AISI 304L               |
| Capacidad         | 52,00 [m <sup>3</sup> ] |
| Diámetro          | 3,50 [m]                |
| Altura            | 5,41 [m]                |
| Espesor           | 3,15 [mm]               |
| Espesor Nominal   | 10 [mm]                 |
| Tiempo Residencia | 1 [hr]                  |

- **Nozzle de Entrada y Salida**

|                  |                 |
|------------------|-----------------|
| Diámetro         | 4,72 [pulg]     |
| Diámetro Nominal | 5" - 40 ST 40 S |
| Diámetro Interno | 5,017 [pulg]    |
| Diámetro Externo | 5,563 [pulg]    |
| Espesor          | 0,258 [pulg]    |

- **Nozzle de Instrumentación**

|                  |                 |
|------------------|-----------------|
| Diámetro Nominal | ¾" - 40 ST 40 S |
| Diámetro Interno | 1,050 [pulg]    |
| Diámetro Externo | 0,824 [pulg]    |
| Espesor          | 0,113 [pulg]    |

- **Nozzle de Drenaje**

|                  |                   |
|------------------|-------------------|
| Diámetro Nominal | 1 ½" - 40 ST 40 S |
| Diámetro Interno | 1,610 [pulg]      |
| Diámetro Externo | 1,900 [pulg]      |
| Espesor          | 0,145 [pulg]      |

- **Manhole**

|                  |              |
|------------------|--------------|
| Diámetro Nominal | 24" - 20 ST  |
| Diámetro Interno | 23,25 [pulg] |
| Diámetro Externo | 24,00 [pulg] |
| Espesor          | 0,375 [pulg] |

- **Estanque de Combustible (ET – AG<sub>2</sub>)**

Un estanque de almacenamiento para el Fuel Diesel utilizada para el horno rotatorio y caldera tiene aproximadamente una capacidad para la etapa de pirolisis de 0,09 [m<sup>3</sup>/h], la cual dura 3,56 días y para la etapa de activación de 0,32 [m<sup>3</sup>/h], la cual dura 1 día. Si aproximamos estos valores para 4 etapas de producción serían 31,03 [m<sup>3</sup>] para pirolisis y 30,27 [m<sup>3</sup>] para activación lo que arroja

una capacidad de estanque de 61,30 [m<sup>3</sup>], logrando fijarse en 62,00 [m<sup>3</sup>]. Para estimar las dimensiones del estanque, se utilizaron las ecuaciones del diseño de estanque de agua industrial, presentes al comienzo de la sección 8.2.2, conociendo la capacidad se puede conocer el área y la altura adecuada, en base a un diámetro común de estanque de 3,5 [m].

- **Estanque de Combustible**

|                   |                         |
|-------------------|-------------------------|
| Material          | AISI 304L               |
| Capacidad         | 62,00 [m <sup>3</sup> ] |
| Diámetro          | 3,50 [m]                |
| Altura            | 6,44 [m]                |
| Espesor           | 2,85 [mm]               |
| Espesor Nominal   | 10 [mm]                 |
| Tiempo Residencia | 1 [hr]                  |

- **Nozzle de Entrada y Salida**

|                  |  |
|------------------|--|
| Diámetro         | 0,43 [pulg]                                |
| Diámetro Nominal | <sup>3</sup> / <sub>4</sub> " - 40 ST 40 S |
| Diámetro Interno | 0,493 [pulg]                               |
| Diámetro Externo | 0,675 [pulg]                               |
| Espesor          | 0,091 [pulg]                               |

- **Nozzle de Instrumentación**

|                  |  |
|------------------|--|
| Diámetro Nominal | <sup>3</sup> / <sub>4</sub> " - 40 ST 40 S |
| Diámetro Interno | 1,050 [pulg]                               |
| Diámetro Externo | 0,824 [pulg]                               |
| Espesor          | 0,113 [pulg]                               |

- **Nozzle de Drenaje**

|                  |                   |
|------------------|-------------------|
| Diámetro Nominal | 1 ½" - 40 ST 40 S |
| Diámetro Interno | 1,610 [pulg]      |
| Diámetro Externo | 1,900 [pulg]      |
| Espesor          | 0,145 [pulg]      |

- **Manhole**

|                  |              |
|------------------|--------------|
| Diámetro Nominal | 24" - 20 ST  |
| Diámetro Interno | 23,25 [pulg] |
| Diámetro Externo | 24 [pulg]    |
| Espesor          | 0,375 [pulg] |

### 8.2.3 Chancador de Mandíbula (E – 1)

Se necesita un Chancador de Mandíbula para triturar la materia prima ingresada a la bodega de almacenaje, la cantidad total de Cáscaras de Nueces a ingresar es de 7.420 [ton/año], los cuales deberán entrar en seis meses, entregando un flujo de total de 62 [ton/día], igual a 5,00 [m<sup>3</sup>/h], con un 50% de sobredimensionamiento del equipo, para dejar un margen optimista dado que es una tarea crítica en la línea de producción de carbón activo.

El Chancador de Mandíbulas PEX 250X1200 es fabricado en estructura de acero laminado, soldado, muy resistente a la vibración y al trabajo pesado, responde con excelente comportamiento en el chancado de minerales metálicos y no metálicos, de muy alto rendimiento en el proceso de áridos para la construcción y estabilizados para caminos. Chancador especial para producir granulometría fina, cuenta con mayor proporción de ancho de boca para aumentar su rendimiento. Es un equipo ideal para chancado secundario cuando se necesita producir grandes cantidades de partícula homogénea. Según el catálogo de IMATESA SA. [www.imatesa.cl/](http://www.imatesa.cl/). El Chancador más indicado para cumplir las expectativas de molienda primaria se representa en la siguiente **Tabla 8.3 y Figura 8.2:**

| CARACTERÍSTICAS  |                         |
|------------------|-------------------------|
| EQUIPO:          | CHANCADOR DE MANDIBULAS |
| MARCA:           | SHANBAO                 |
| MODELO:          | PEX 250 X 1200          |
| PROCEDENCIA:     | China                   |
| ANCHO BOCA:      | 250 X 1200 mm.          |
| MÁXIMA ADMISIÓN: | 210 mm.                 |
| RANGO DE AJUSTE: | 25 - 60 mm.             |
| RENDIMIENTO:     | 5-37 m3/hora            |
| MOTOR:           | 37 kw/50 Hp             |

**Tabla 8.3 – Características Técnicas Chancador de Mandíbula – IMATESA.**



**Figura 8.2 – Chancador de Mandíbula – IMATESA.**

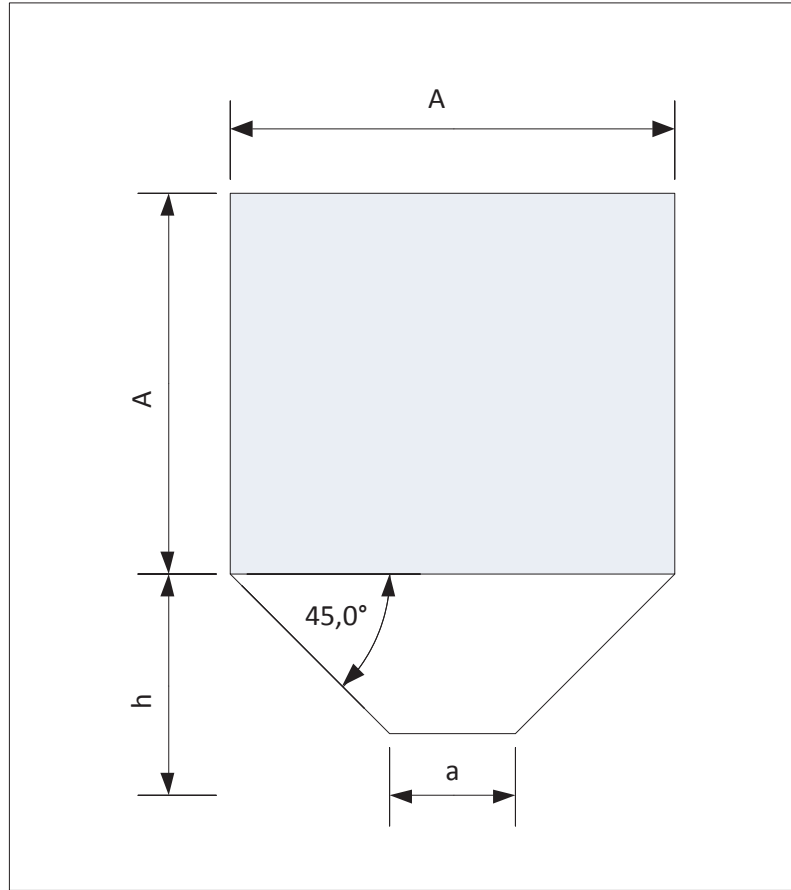


## 8.2.4 Dosificadores (E – 2)

Se necesita dos dosificadores distintos, uno de ángulo recto para la descarga de los camiones sobre el chancador de mandíbula y otro inclinado para alimentar el horno rotatorio. A continuación se detalla el diseño de cada uno de ellos:

### - **Dosificador Material Bodega** (*E – 2a*)

La tolva de descarga recta, se utiliza con mayor frecuencia en la descarga sobre camiones o desde estos a chancadoras, permitiendo una mayor rapidez de ésta, dado que por su forma, parte del material tendrá una caída directa sobre la descarga de la tolva. La tolva requerida debe cumplir la función de recibir desde el chancador de mandíbula y entregar a la correa transportadora que lleva a la bodega de almacenaje de materia prima. **Figura 8.3:**



**Figura 8.3 – Tolva Dosificadora Recta.**

Su diseño puede ser parcializado en una estructura superior (paralelepípedo superior) y en una estructura inferior (tronco de pirámide invertida) las cuales serán determinadas una vez fijados los siguientes parámetros:

Donde:

- $C$  = Capacidad de la tolva, [ton]
- $a$  = Abertura de descarga, [m]
- $Pea$  = Densidad aparente del material, [ton/m<sup>3</sup>]

Así, el volumen del material que puede ser almacenado en la tolva dosificadora recta será:

$$- V = \frac{C}{Pea} \quad [m^3] \quad \text{ecu. 8.18}$$

De esta forma para determinar las dimensiones que nos permitan el diseño de la tolva se debe determinar el volumen capaz de ser guardado por cada una de las estructuras (superior e inferior) que la componen. Recurriendo a la expresión de volumen para un tronco invertido de pirámide por la ecuación siguiente:

$$- V_2 = \frac{h}{3} \cdot (a^2 + A^2 + \sqrt{a^2 \cdot A^2}) \quad [m^3] \quad \text{ecu. 8.19}$$

Donde:

- $V_2$  = Volumen estructura inferior,  $[m^3]$
- $h$  = Altura estructura inferior,  $[m]$
- $a$  = Abertura de descarga,  $[m]$
- $A$  = Altura estructura superior,  $[m]$

Por otra parte la estructura superior posee el volumen  $V_1$ , donde este estará dado por la ecuación **ecu. 8.20**, y donde el volumen total estará dado por la ecuación **ecu. 8.21**:

$$- V_1 = A^3 \quad [m^3] \quad \text{ecu. 8.20}$$

$$- V = V_1 + V_2 \quad [m^3] \quad \text{ecu. 8.21}$$

Donde:

- $V$  = Volumen total tolva, [ $m^3$ ]
- $V_1$  = Volumen superior tolva, [ $m^3$ ]
- $V_2$  = Volumen inferior tolva, [ $m^3$ ]

Desde la necesidad de optimizar el material de construcción de la tolva, la inclinación de las paredes de la estructura inferior serán de  $45^\circ$ . Esto permite, a través de la ecuación de volumen total de la pirámide invertida y truncada, lo siguiente:

$$- \operatorname{tg}(\alpha) = \frac{H}{\left[\frac{A-a}{2}\right]} = \frac{2-H}{A-a} \quad \text{ecu. 8.22}$$

$$- A - a = \frac{2 \cdot h}{\operatorname{tg}(\alpha)} \quad \text{ecu. 8.23}$$

$$- h = \frac{A-a}{2} \quad [m] \quad \text{ecu. 8.24}$$

Donde:

- $\alpha$  = Ángulo de reposo del materia, ( $45^\circ$ )
- $h$  = Altura de la tolva, [ $m$ ]
- $a$  = Abertura de descarga, [ $m$ ]
- $A$  = Altura estructura superior, [ $m$ ]

Se reemplaza las ecuaciones vistas anteriormente como la **ecu. 8.19** y **ecu. 8.20**, en la ecuación **ecu. 8.21**, y dado que el volumen total puede ser determinado por la **ecu. 8.18**, y la altura de la estructura inferior puede ser

determinado por la ecuación **ecu. 8.24**, la expresión para determinar la dimensión de la estructura superior será:

$$- A = \left[ \frac{6 \cdot V + a^3}{7} \right]^{1/3} \quad [m] \quad \text{ecu. 8.25}$$

Donde:

-  $A$  = Altura estructura superior, [m]

Así tenemos que la altura total de la tolva, se puede expresar de la siguiente manera:

$$- H_t = A + h \quad [m] \quad \text{ecu. 8.26}$$

Donde:

-  $H_t$  = Altura total de la tolva, [m]

Así la superficie de cada una de las paredes de la estructura inferior por su parte pueden ser definidas como:

$$- S_i = \frac{A^2 - a^2}{2} \quad [m] \quad \text{ecu. 8.27}$$

Donde:

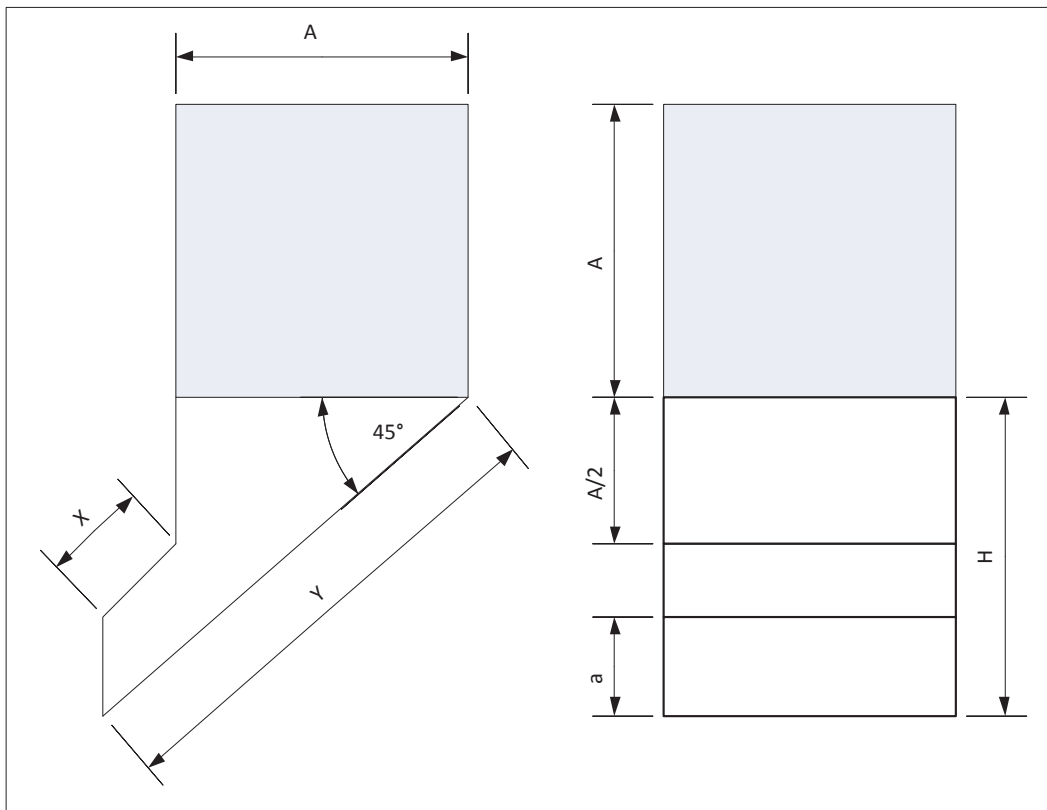
-  $S_i$  = Superficie pared inferior, [m<sup>2</sup>]

-  $a$  = Abertura de descarga, [m]

-  $A$  = Altura estructura superior, [m]

- **Dosificador Material a Horno Rotatorio ( $E - 2b$ )**

Tolva de descarga inclinada, utilizada preferentemente en la carga de cintas transportadoras, ya que su forma obliga a una reducción de la velocidad en la caída del material al tener éste que deslizarse en su totalidad por una pared inclinada de aproximadamente  $45^\circ$ , hasta el punto de descarga. **Figura 8.4:**



**Figura 8.4 – Tolva Dosificadora Inclinada.**

Las dimensiones de la tolva, mostradas en la figura anterior, pueden ser obtenidas por relaciones geométricas simples, a partir de los siguientes parámetros que se enuncian a continuación:

$$- C = V \cdot Pea \quad [ton] \quad \text{ecu. 8.28}$$

Donde:

- $A$  = Abertura de descarga (ancho), [m]
- $Pea$  = Densidad aparente del material, [ton/m<sup>3</sup>]
- $C$  = Capacidad de la tolva, [ton]

El ancho de la abertura de descarga queda determinado según el ancho de la cinta que se va a cargar o según lo desee quién este diseñando. Este valor será el que corresponda al ancho de la tolva. Para una adecuada proporción se considera que:

$$- a = \frac{A}{2} \quad [m] \quad \text{ecu. 8.29}$$

Donde:

- $a$  = Abertura de descarga (alto), [m]

Al igual que en el caso anterior de tolva recta, se distinguen dos estructuras en la formación de la tolva, sólo que ahora la estructura inferior es diferente. Las dimensiones de esta última pueden ser expresadas a través de:

$$- h = \frac{A}{2} + a \cdot \cos^2(45) + a \quad [m] \quad \text{ecu. 8.30}$$

$$- X = a \cdot \cos(45) \quad [m] \quad \text{ecu. 8.31}$$

$$- Y = \frac{h}{\cos(45^\circ)} \quad [m] \quad \text{ecu. 8.32}$$

Donde:

- $h$  = Altura de la estructura inferior, [ $m^3$ ]
- $X$  = Longitud inclinada menor, [ $m$ ]
- $Y$  = Longitud inclinada mayor, [ $m$ ]

La altura total de la tolva se puede obtener al igual que en el caso anterior a través de la **ecu. 8.26**. Los volúmenes parciales de cada estructura y el volumen total estarán dados por:

$$- V_1 = A^3 \quad [m^3] \quad \text{ecu. 8.33}$$

$$- V_2 = \frac{A^3}{2} + \frac{A^3}{4} \cdot \cos^2(45^\circ) \quad [m^3] \quad \text{ecu. 8.34}$$

$$- V = 1,625 \cdot A^3 \quad [m^3] \quad \text{ecu. 8.35}$$

$$- C = V \cdot Pea \quad [ton] \quad \text{ecu. 8.36}$$

Donde:

- $V$  = Volumen total tolva, [ $m^3$ ]
- $V_1$  = Volumen superior tolva, [ $m^3$ ]
- $V_2$  = Volumen inferior tolva, [ $m^3$ ]



## 8.2.5 Molino Raymond (E – 3)

Se necesita un Molino para moler el carbón natural y activo que sale como producto del horno rotatorio para alimentar a los silos de almacenaje, la cantidad necesaria es de 5,00 [m<sup>3</sup>/h], con un 50% de sobredimensionamiento del equipo, para dejar un margen optimista dado que es una tarea critica en la línea de producción de carbón activo. El molino Raymond se aplica a la pulverización y procesamiento de más de 280 tipos de materiales inflamables y no explosivos con una dureza menor a 7 Mohs y una humedad menor al 6% en minería, construcción, industria química y metalúrgica, tales como barita, calcita, feldespato, talco, mármol, piedra caliza, arcilla, vidrio. La finura del producto terminado puede ser ajustada desde los 100 hasta los 325 mesh de acuerdo con los requerimientos.

- Fuerte capacidad de integración y acero fundido en las partes principales.
- Pequeño espacio que ocupa de la estructura en pie.
- Hermético de engranajes y poleas, discos sin problemas.
- Automaticidad de alta del sistema de control eléctrico con control centralizado.

|   |                       |                 |         |
|---|-----------------------|-----------------|---------|
| Modelo                                  |                       | 3R2115          |         |
| Rodillo                                 | Diámetro(mm)          | 210             |         |
|   | Altitud (mm)          | 150             |         |
| Anillo                                  | Diámetro Interno (mm) | 630             |         |
|   | Altitud (mm)          | 150             |         |
| Capacidad máx. de alimentación (mm)     |                       | 15              |         |
| Tamaño de grano del producto final (mm) |                       | 0.044-0.165     |         |
| Potencia de Motor Principal (kw)        |                       | 15              |         |
| Tamaño producto final (mm)              | 0.125                 | Capacidad (t/h) | 1.2-1.8 |
|   | 0.075                 |                 | 0.6-1.2 |
|   | 0.044                 |                 | 0.6-1.0 |

**Tabla 8.4 – Características Técnicas Molino Raymond – SBMCHINA.**

El Molino Raymond 3R2115 es fabricado en estructura de acero laminado, soldado, muy resistente a la vibración y al trabajo pesado. Según el catálogo de SBMCHINA. <http://es.sbmchina.com/> El molino más indicado para cumplir las expectativas de molienda secundaria se representa en la siguiente **Tabla 8.4 y Figura 8.5:**



**Figura 8.5 – Molino Raymond – SBMCHINA.**

## 8.2.6 Cargador Frontal (E – 4)

Se necesita un Minicargador New Holland L213, para llevar las cáscaras de nueces molidas a la tolva de descarga inclinada, este equipo debe tener una paleta mínima de carga de 2.500 [kg/h], con un 50% de sobredimensionamiento del equipo, para dejar un margen optimista dado que es una tarea crítica en la línea de producción de carbón activo.

| CARACTERÍSTICAS          |                             |
|--------------------------|-----------------------------|
| Potencia Neta            | 43 [hp]                     |
| Peso Operativo           | 2.270 [kg]                  |
| Altura de descarga       | 2.845 [cm]                  |
| Capacidad de carga       | 590 [kg]                    |
| Ancho Total              | 1.518 [mm]                  |
| Desplazamiento en baja   | 10,8 [kh]                   |
| Sistema de freno         | Desacoplamiento hidráulico. |
| Capacidad de combustible | 60,5 [lts]                  |
| Potencia Neta            | 43 [hp]                     |
| Peso Operativo           | 2.270 [kg]                  |
| Altura de descarga       | 2.845 [cm]                  |
| Capacidad de carga       | 590 [kg]                    |
| Ancho Total              | 1.518 [mm]                  |
| Desplazamiento en baja   | 10,8 [kh]                   |

Tabla 8.5 – Características Técnicas Minicargador Frontal – NEW HOLLAND.

Según el catálogo de NEW HOLLAND. <http://www.sigdotek.cl/> El Minicargador más indicado para cumplir las expectativas de traslado se representa en la siguiente **Tabla 8.5 y Figura 8.6:**



**Figura 8.6 – cargador Frontal – NEW HOLLAND.**

## 8.3 Bodegas, Silos y Correas transportadoras

| ÓDIGO          | BODEGAS, SILOS Y CORREAS TRASPORADORAS                        |
|----------------|---|
| <i>SIL – 1</i> | Silo Almacenamiento Carbón Natural                            |
| <i>SIL – 2</i> | Silo Almacenamiento Carbón Activo                             |
| <i>EMP – 1</i> | Sala Embalaje Producto Terminado ( <i>Ver Capítulo N° 9</i> ) |
| <i>BDA – 1</i> | Bodega Almacenaje Materia Prima ( <i>Ver Capítulo N° 9</i> )  |
| <i>BDA – 2</i> | Bodega Almacenaje Producto ( <i>Ver Capítulo N° 9</i> )       |
| <i>CT – 1</i>  | Correa Transportadora Materia Prima a Bodega                  |
| <i>CT – 2</i>  | Correa Transportadora Carbón Natural a Silo                   |
| <i>CT – 3</i>  | Correa Transportadora Carbón Activado a Silo                  |

### 8.3.1 Silo Almacenamiento Carbón Natural (SIL – 1)

El silo de almacenamiento de carbón natural, tiene que poseer una capacidad de almacenamiento de 42,90 [m<sup>3</sup>]. Con un diámetro estándar de 3,00 [m], a continuación se describe el proceso de cálculo.

- **Espesor del Manto.**
  - **Temperatura de Operación:** Para el diseño del equipo se considera la temperatura más alta alcanzada, pero al ser atmosférico esta no excede los 40° C, lo cual no conlleva una situación crítica de diseño.
  - **Presión de Operación:** La presión de operación, será la ejercida por el sólido a granel dentro de la carcasa, por lo que el diseño será a presión interna. Según la siguiente ecuación:

$$- P_i = \rho \cdot g \cdot h \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.33}$$

$$- P = P_i - P_{atm} \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.34}$$

Donde:

- $P_i$  = Presión interna total, [bar]
- $P_{atm}$  = Presión atmosférica, [bar]
- $P$  = Presión de diseño, [bar]
- $\rho$  = Densidad material relleno, [kg/m<sup>3</sup>]
- $g$  = Constante aceleración gravedad, [m/s<sup>2</sup>]
- $h$  = Altura de relleno, [m]

- **Diseño Mecánico:** Diseño del Cilindro a Presión Interna.

- **Determinación de Material:** Todo el equipo y los utensilios empleados en las áreas de manipulación de productos y que puedan entrar en contacto con ellos, deben ser de un material que no transmita sustancias tóxicas, olores ni sabores, resistente a la corrosión, y capaz de resistir repetidas operaciones de limpieza y desinfección. El caso específico de la industria de los alimentos, el material más recomendado, es el acero inoxidable, especialmente para las superficies que entran en contacto con el alimento. La característica de poder ser pulido con facilidad, lo señala como ideal para obtener una superficie lisa y de fácil limpieza. En general los tipos AISI 304 y 316 son los más recomendados. Cuando hay que hacer soldaduras se recomienda los tipos AISI 304L y 316L, para evitar la corrosión intergranular, especialmente para los procesos de limpieza "in situ" y en tanques o recipientes donde se almacenan materias primas o productos a granel. Basados en éste análisis, y considerando la relación resistencia costo más conveniente el material seleccionado fue: AISI 304L. Se emplea en el forjado, estampado y mecanizado de piezas mecánicas diversas para la industria química.

| Composición<br>Química (%) |      |      |      |      |      |       | Limite<br>Elástico | T° máx | Resistencia<br>corrosión |
|----------------------------|------|------|------|------|------|-------|--------------------|--------|--------------------------|
| C                          | Mn   | Cr   | Ni   | Mo   | Si   | Otros | (Kpsi)             | (°C)   | (Comentario)             |
| 0,03                       | 2,00 | 18,5 | 10,0 | 0,00 | 1,00 | Cb    | 75                 | 800    | Excelente                |

**Tabla 8.6 – Características Físico – Químicas Material AISI 304L.**

- **Diseño de Cilindro a Presión Interna:** Para la determinación del espesor de carcasa utilizaremos la presión generada por el sólido almacenado, se utiliza la ecuación ASME de diseño a presión interna:

$$- t_{manto} = \frac{P \cdot r_i}{\sigma_{adm} \cdot E - 0,6 \cdot P} + c \quad [mm] \quad \text{ecu. 8.35}$$

$$- \sigma_{adm} = \frac{\sigma_{ela}}{n} \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.36}$$

$$- \frac{r_i}{t} \geq 5 \quad \text{ecu. 8.37}$$

Donde:

- $t_{manto}$  = Espesor del manto, [mm]
  - $P$  = Presión de diseño, [bar]
  - $\sigma_{adm}$  = Esfuerzo admisible del material, [bar]
  - $\sigma_{ela}$  = Esfuerzo máximo, límite elástico del material, [bar]
  - $E = 0,9$ , Eficiencia de soldadura.
  - $r_i$  = Radio interno, [mm]
  - $n = 3$ , Factor de seguridad del material.
  - $c$  = Espesor de seguridad por corrosión, 2,0 [mm]
- **Diseño de Cabezal Esférico:** Utilizando ecuación ASME para cabezales esféricos y material base AISI 316:

$$- t_{cabezal} = \frac{P \cdot r_i}{2 \cdot \sigma_{adm} \cdot E - 0,2 \cdot P} + c \quad [mm] \quad \text{ecu. 8.38}$$

$$- \sigma_{adm} = \frac{\sigma_{ela}}{n} \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.39}$$

Donde:

- $t_{cabezal}$  = Espesor del cabezal, [mm]
- $P$  = Presión de diseño, [bar]
- $\sigma_{adm}$  = Esfuerzo admisible del material, [bar]
- $\sigma_{ela}$  = Esfuerzo máximo, límite elástico del material, [bar]
- $r_i$  = Radio interno, [mm]
- $E = 0,9$ , Eficiencia de soldadura.
- $n = 3$ , Factor de seguridad del material.
- $c$  = Espesor de seguridad por corrosión, 2,0 [mm]

- **Análisis de Esfuerzos**

- Para el análisis de esfuerzos axiales debemos considerar el esfuerzo axial de operación, el esfuerzo por pesos muertos, el esfuerzo axial producido por el viento tomando en cuenta si son esfuerzos de tensión de compresión. En el diseño de nuestro equipo utilizamos el siguiente criterio:

|                                    |     |                        |
|------------------------------------|-----|------------------------|
| Esfuerzo en dirección hacia abajo  | (-) | Esfuerzo de compresión |
| Esfuerzo en dirección hacia arriba | (+) | Esfuerzo de tensión    |

- **Diseño de Esfuerzos a Presión Interna:**

$$- \sigma_p(x) = \frac{P(x) \cdot d_0}{4 \cdot (t_{manto} - c)} \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.40}$$



$$- d_0 = d_i + 2 \cdot t_{manto} \quad [mm] \quad \text{ecu. 8.41}$$

$$- P_i(x) = \rho \cdot g \cdot x \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.42}$$

$$- P(x) = P_i(x) - P_{atm} \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.43}$$

Donde:

- $\sigma_p(x)$  = Esfuerzo operación, [bar]
- $t_{manto}$  = Espesor del manto, [mm]
- $d_i$  = Diámetro interno del manto, [mm]
- $d_o$  = Diámetro externo del manto, [mm]
- $P(x)$  = Presión de diseño en función de la altura, [bar]
- $P_i(x)$  = Presión interna total en función de la altura, [bar]
- $P_{atm}$  = Presión atmosférica, [bar]
- $P$  = Presión de diseño, [bar]
- $\rho$  = Densidad material relleno, [kg/m<sup>3</sup>]
- $g$  = Constante aceleración gravedad, [m/s<sup>2</sup>]
- $c$  = Espesor de seguridad por corrosión, 2,0 [mm]
- $x$  = Altura variable de relleno, [m]

**- Cálculo Esfuerzos por Aislamiento:**

$$- W_a(x) = \frac{\pi \cdot (r_a^2 - r_o^2) \cdot \rho_a \cdot g \cdot x}{10^6} \quad [N] \quad \text{ecu. 8.44}$$

$$- \sigma_a(x) = \frac{W_a(x) \cdot 10^6}{\pi \cdot d_o \cdot (t_{manto} - c) \cdot 10^5} \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.45}$$

$$- d_0 = d_i + 2 \cdot t_{manto} \quad [mm] \quad \text{ecu. 8.46}$$

Donde:

- $W_a(x)$  = Fuerza producida por el aislante, [N]

- $\sigma_a(x)$  = Esfuerzo producido por el aislante, [bar]
- $r_a$  = Radio externo cilindro, incluyendo espesor aislante, [mm]
- $r_o$  = Radio externo cilindro, [mm]
- $d_i$  = Diámetro interno del manto, [mm]
- $d_o$  = Diámetro externo del manto, [mm]
- $\rho_a$  = Densidad material aislante, [kg/m<sup>3</sup>]
- $g$  = Constante aceleración gravedad, [m/s<sup>2</sup>]
- $c$  = Espesor de seguridad por corrosión, 2,0 [mm]
- $x$  = Altura variable de aislante, [m]

- **Cálculo Esfuerzos por Manto (Carcaza):**

$$- W_m(x) = \frac{\pi \cdot (r_o^2 - r_i^2) \cdot \rho_m \cdot g \cdot x}{10^6} \quad [N] \quad \text{ecu. 8.47}$$

$$- \sigma_m(x) = \frac{\rho \cdot g \cdot x}{10^5} \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.48}$$

Donde:

- $W_m(x)$  = Fuerza producida por el manto, [N]
- $\sigma_m(x)$  = Esfuerzo producido por el manto, [bar]
- $r_o$  = Radio externo cilindro, [mm]
- $r_i$  = Radio interno cilindro, [mm]
- $\rho_m$  = Densidad material del manto, [kg/m<sup>3</sup>]
- $g$  = Constante aceleración gravedad, [m/s<sup>2</sup>]
- $x$  = Altura variable del manto, [m]

- **Cálculo Esfuerzos por Cabezal:**

$$- W_c = \frac{A_c \cdot t_c \cdot \rho_c \cdot g}{10^3} \quad [N] \quad \text{ecu. 8.49}$$

$$- \sigma_c = \frac{W_c \cdot 10^6}{\pi \cdot d_o \cdot (t_{manto} - c) \cdot 10^5} \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.50}$$

$$- A_c = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_o^2}{10^6} \quad [m^2] \quad \text{ecu. 8.51}$$

Donde:

- $W_c$  = Fuerza producida por el cabezal, [N]
- $\sigma_c$  = Esfuerzo producido por el cabezal, [bar]
- $r_o$  = Radio externo cabezal, [mm]
- $d_o$  = Diámetro externo del manto, [mm]
- $t_c$  = Espesor del cabezal, [mm]
- $c$  = Espesor de seguridad por corrosión, 2,0 [mm]
- $\rho_c$  = Densidad material del cabezal, [kg/m<sup>3</sup>]
- $g$  = Constante aceleración gravedad, [m/s<sup>2</sup>]

- **Cálculo Esfuerzos por Relleno:**

$$- W_r(x) = \rho_r \cdot g \cdot V_r(x) \quad [N] \quad \text{ecu. 8.52}$$

$$- \sigma_r(x) = \frac{W_r \cdot 10^6}{\pi \cdot d_o \cdot (t_{manto} - c) \cdot 10^5} \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.53}$$

$$- V_r(x) = \frac{\pi \cdot r_i^2 \cdot x}{10^6} \quad [m^3] \quad \text{ecu. 8.54}$$

Donde:

- $W_r(x)$  = Fuerza producida por el relleno, [N]
- $\sigma_r(x)$  = Esfuerzo producido por el relleno, [bar]

- $r_i$  = Radio interno cilindro, [mm]
- $\rho_r$  = Densidad material del relleno, [kg/m<sup>3</sup>]
- $g$  = Constante aceleración gravedad, [m/s<sup>2</sup>]
- $d_o$  = Diámetro externo del manto, [mm]
- $t_{manto}$  = Espesor del manto, [mm]
- $c$  = Espesor de seguridad por corrosión, 2,0 [mm]
- $x$  = Altura variable del relleno, [m]

- **Cálculo Esfuerzos por Soporte Relleno**

$$- W_{sr} = M_{sr} \cdot g \quad [N] \quad \text{ecu. 8.55}$$

$$- \sigma_{sr} = \frac{W_{sr} \cdot 10^6}{\pi \cdot d_o \cdot (t_{manto} - c) \cdot 10^5} \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.56}$$

Donde:

- $W_{sr}$  = Fuerza producida por el relleno, [N]
- $\sigma_{sr}$  = Esfuerzo producido por el relleno, [bar]
- $M_{sr}$  = Masa soporte del relleno, [kg]
- $g$  = Constante aceleración gravedad, [m/s<sup>2</sup>]
- $d_o$  = Diámetro externo del manto, [mm]
- $t_{manto}$  = Espesor del manto, [mm]
- $c$  = Espesor de seguridad por corrosión, 2,0 [mm]

- **Cálculo Esfuerzos Excéntricos (Escalera):**

$$- W_e(x) = \rho_e \cdot g \cdot x \quad [N] \quad \text{ecu. 8.57}$$

$$- \sigma_e(x) = \frac{W_e \cdot 10^6}{\pi \cdot d_o \cdot (t_{manto} - c) \cdot 10^5} \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.58}$$

Donde:

- $W_e(x)$  = Fuerza producida por la escalera, [N]
- $\sigma_e(x)$  = Esfuerzo producido por la escalera, [bar]
- $\rho_e$  = Densidad lineal de la escalera, [kg/m]
- $g$  = Constante aceleración gravedad, [m/s<sup>2</sup>]
- $d_o$  = Diámetro externo del manto, [mm]
- $t_{manto}$  = Espesor del manto, [mm]
- $c$  = Espesor de seguridad por corrosión, 2,0 [mm]
- $x$  = Altura variable del cilindro, [m]

- **Cálculo Esfuerzos Excéntricos (Plataforma):**

$$- W_{pla} = \rho_{pla} \cdot A_{pla} \cdot g \quad [N] \quad \text{ecu. 8.59}$$

$$- \sigma_{pla} = \frac{W_{pla} \cdot 10^6}{\pi \cdot d_o \cdot (t_{manto} - c) \cdot 10^5} \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.60}$$

Donde:

- $W_{pla}$  = Fuerza producida por la plataforma, [N]
- $\sigma_{pla}$  = Esfuerzo producido por la plataforma, [bar]
- $A_{pla}$  = Área de la plataforma, [m<sup>2</sup>]
- $\rho_{pla}$  = Densidad superficial de la plataforma, [kg/m<sup>2</sup>]
- $g$  = Constante aceleración gravedad, [m/s<sup>2</sup>]
- $d_o$  = Diámetro externo del manto, [mm]
- $t_{manto}$  = Espesor del manto, [mm]
- $c$  = Espesor de seguridad por corrosión, 2,0 [mm]

- **Cálculo Esfuerzos Externos (Vientos):** se trata de una zona de bajo viento, menor a 100 [km/h] ó 54 [millas/h].

$$P_w = 0.004 \cdot \frac{B}{30} \cdot V_w^2 \cdot F_s \cdot F_h \cdot 47,65 \quad [Pa] \quad \text{ecu. 8.61}$$

$$\sigma_w(x) = \frac{P_w \cdot d_{ef} \cdot x^2 \cdot 10^6}{2 \cdot \pi \cdot r_o^2 \cdot (t_{manto} - c) \cdot 10^5} \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.62}$$

Donde:

- $P_w$  = Presión generada por el viento , [Pa]
- $\sigma_w$  = Esfuerzo generado por el viento, [bar]
- $B$  = Presión barométrica, [pulg Hg]
- $V_w$  = Velocidad del Viento , [millas/h]
- $F_s$  = Factor geométrico, 0,6
- $F_h$  = Factor de altura, 1,0
- $r_o$  = Radio externo cabezal, [mm]
- $d_{ef}$  = Diámetro efectivo total, [mm]
- $t_{manto}$  = Espesor del manto, [mm]
- $c$  = Espesor de seguridad por corrosión, 2,0 [mm]
- $x$  = Altura del cilindro, [m]

- **Cálculo Esfuerzos Externos (Sismos):** se trata de una zona de alta frecuencia sísmica, con un período < 0,04 [s], eligiendo la zona 3, la cual nos entrega un factor de 0,2.

| Período | < 0,4 s | 0,4 - 1,0 s | >1,0 s |
|---------|---------|-------------|--------|
| Zona 1  | 0,05    | 0,02/T      | 0,02   |
| Zona 2  | 0,1     | 0,04/T      | 0,04   |
| Zona 3  | 0,2     | 0,08/T      | 0,08   |

**Tabla 8.7 – Factores Sísmicos para Cálculo de Esfuerzo Sísmico.**

$$- \sigma_s(x) = \frac{C \cdot W_T(x) \cdot x^2 \cdot (H-x/3) \cdot 10^9}{\pi \cdot H^2 \cdot r_o^2 \cdot (t_{manto} - c) \cdot 10^5} \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.63}$$

$$- T(x) = \sqrt{\frac{W_L(x) \cdot H^4 \cdot 10^{12}}{E \cdot r_o^3 \cdot (t_{manto} - c) \cdot g}} \quad [s] \quad \text{ecu. 8.64}$$

Donde:

- $\sigma_s$  = Esfuerzo generado por el sismo , [bar]
- $T$  = Frecuencia del sismo, [s]
- $W_T(x)$  = Fuerza total producida, [N]
- $W_L(x)$  = Fuerza total producida lineal, [N/m]
- $H$  = Altura máxima del cilindro, [m]
- $r_o$  = Radio externo cabezal, [mm]
- $g$  = Constante aceleración gravedad, [m/s<sup>2</sup>]
- $t_{manto}$  = Espesor del manto, [mm]
- $c$  = Espesor de seguridad por corrosión, 2,0 [mm]
- $x$  = Altura del cilindro, [m]

- **Análisis Equipo Operativo:** se toma el esfuerzo producido por los sismos y no la el del viento, debido a que el primero, reporta una mayor presión sobre el equipo, debido a las condiciones medioambientales de la zona.

- Tensión (a favor):

$$- \sigma_{total}(x) = \sigma_p(x) + \sigma_s(x) + \sigma_{pla} - (\sigma_a(x) + \sigma_m(x) + \sigma_c + \sigma_r(x) + \sigma_{sr} + \sigma_e(x)) \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.65}$$

- Compresión (en contra):

$$- \sigma_{total}(x) = \sigma_p(x) - \sigma_s(x) - \sigma_{pla} - (\sigma_a(x) + \sigma_m(x) + \sigma_c + \sigma_r(x) + \sigma_{sr} + \sigma_e(x)) \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.66}$$

- **Análisis Equipo No Operativo:** se toma el esfuerzo producido por los sismos y no la el del viento, debido a que el primero, reporta una mayor presión sobre el equipo, debido a las condiciones medioambientales de la zona.

- Tensión (a favor):

$$\sigma_{total}(x) = \sigma_s(x) + \sigma_{pla} - (\sigma_a(x) + \sigma_m(x) + \sigma_c + \sigma_r(x) + \sigma_{sr} + \sigma_e(x)) \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.67}$$

- Compresión (en contra):

$$\sigma_{total}(x) = -\sigma_s(x) - \sigma_{pla} - (\sigma_a(x) + \sigma_m(x) + \sigma_c + \sigma_r(x) + \sigma_{sr} + \sigma_e(x)) \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.68}$$

- **Esfuerzos Admisibles Máximos**

- Tensión (a favor):

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{le}}{n} \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.69}$$

- Compresión (en contra):

$$\sigma_{adm} = \frac{1,5 \cdot 10^6 \cdot t}{r_o} \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.70}$$

$$\sigma_{adm} \leq \frac{yp}{3} = 689,5 \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.71}$$

- **Estimación de Soldadura:** Como ya se mencionó, el proceso a utilizar es el proceso MIG, con una eficiencia de depósito del 90%, y con una velocidad de depósito 5 [Kg/h], el flujo de gas protector varía entre 8 a 17 [l/min]. El tipo de depósito dependerá del tipo empalme, en general se utilizará bisel en V (60°) y



filete. Para determinar la masa total de soldadura utilizaremos las siguientes formulas:

$$- M_S = k \cdot M_T \quad [Kg] \quad \text{ecu. 8.72}$$

$$- V_S = \frac{M_S \cdot f_G}{V_d} \quad [Kg] \quad \text{ecu. 8.73}$$

Donde:

- $M_S$  = Masa total de soldadura, [kg]
- $V_S$  = Volumen del gas, [m<sup>3</sup>]
- $k$  = Factor de soldadura, [0,01 – 0,05]
- $M_T$  = Masa total del equipo, [kg]
- $f_G$  = Flujo de gas, 10,0 [l/min]
- $V_d$  = Velocidad de depósito, 5,0 [kg/h]

- **Silo Almacenamiento Carbón Natural (SIL – 1)**

| DIMENSIONES EQUIPO               |        |                         |
|----------------------------------|--------|-------------------------|
| Diámetro                         | 3,00   | [mm]                    |
| Volumen                          | 42,90  | [m <sup>3</sup> /etapa] |
| Altura                           | 6,07   | [m]                     |
| Densidad Material                | 600,00 | [kg/m <sup>3</sup> ]    |
| OPERACIONALES                    |        |                         |
| Presión Operación                | 2,0    | [bar]                   |
| Esfuerzo Admisible Tensión       | 1723,7 | [bar]                   |
| Esfuerzo Admisible Compresión    | 412,0  | [bar]                   |
| Espesor Manto (Carcaza)          | 4,0    | [mm]                    |
| Espesor Estándar Manto (Carcaza) | 6,0    | [mm]                    |
| Espesor Cabezal                  | 5,4    | [mm]                    |
| Espesor Estándar Cabezal         | 6,0    | [mm]                    |
| Espesor Seguridad por Corrosión  | 2,0    | [mm]                    |

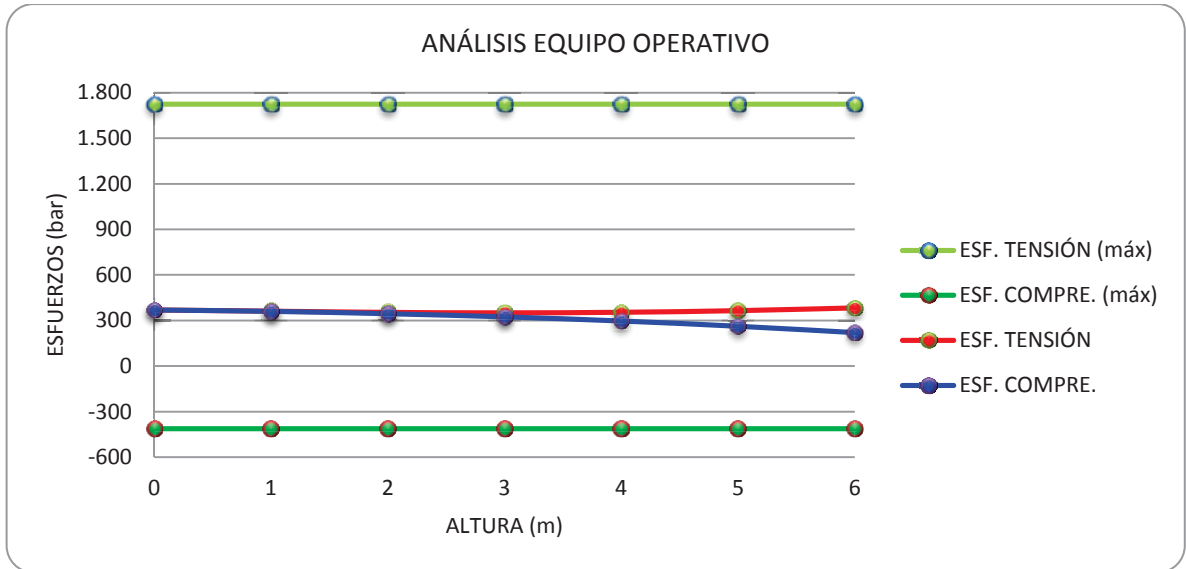
**Tabla 8.8 – Resumen Análisis Mecánico Silo Almacenamiento Carbón Natural (SIL – 1).**

| ANÁLISIS ESFUERZOS           |        |       |
|------------------------------|--------|-------|
| Esfuerzo Operación           | 376,5  | [bar] |
| Esfuerzo Manto (Carcaza)     | 4,7    | [bar] |
| Esfuerzo Relleno             | 66,6   | [bar] |
| Esfuerzo Cabezal             | 1,0    | [bar] |
| Esfuerzo Soporte Relleno     | 2,6    | [bar] |
| Esfuerzo Escalera            | 0,6    | [bar] |
| Esfuerzo Viento              | 6,5    | [bar] |
| Esfuerzo Sismo               | 83,7   | [bar] |
| ANÁLISIS EQUIPO OPERATIVO    |        |       |
| Esfuerzo Total Tensión       | 384,6  | [bar] |
| Esfuerzo Total Compresión    | 217,3  | [bar] |
| ANÁLISIS EQUIPO NO OPERATIVO |        |       |
| Esfuerzo Total Tensión       | 8,1    | [bar] |
| Esfuerzo Total Compresión    | -159,2 | [bar] |

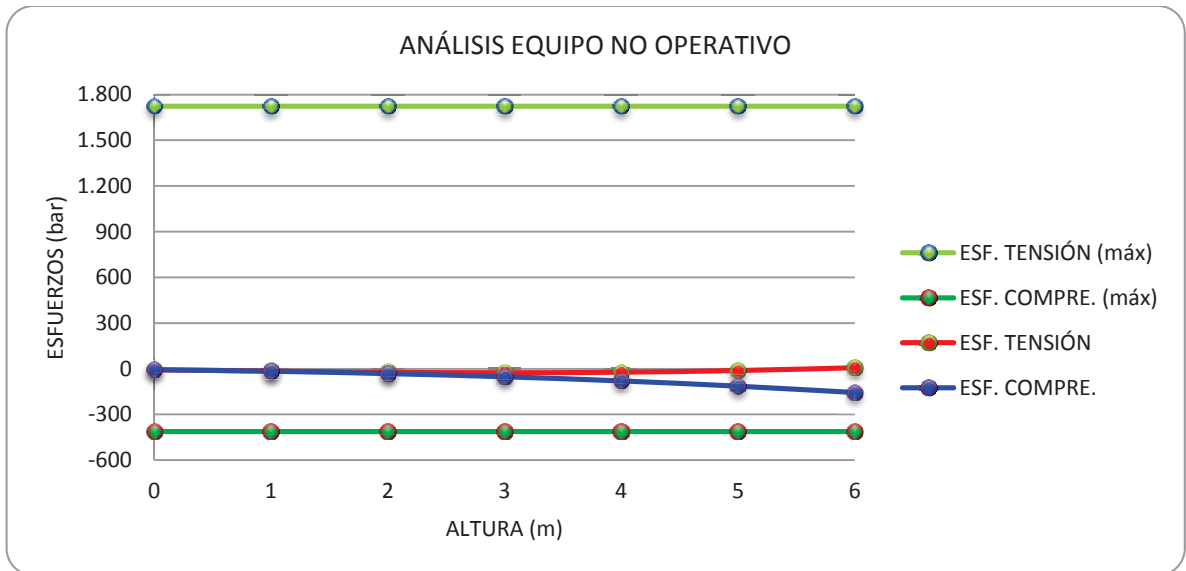
**Tabla 8.8 (cont.) – Resumen Análisis Mecánico Silo Almacenamiento Carbón Natural (SIL – 1).**

| Equipo Operativo    | Esfuerzos Admisibles |            | Esfuerzos Calculados |            |
|---------------------|----------------------|------------|----------------------|------------|
| Altura              | Tensión              | Compresión | Tensión              | Compresión |
| [m]                 | [bar]                | [bar]      | [bar]                | [bar]      |
| 0,00                | 1723,69              | -412,04    | 369,42               | 369,42     |
| 1,00                | 1723,69              | -412,04    | 361,68               | 360,36     |
| 2,00                | 1723,69              | -412,04    | 353,55               | 344,80     |
| 3,00                | 1723,69              | -412,04    | 350,59               | 324,06     |
| 4,00                | 1723,69              | -412,04    | 354,19               | 296,77     |
| 5,00                | 1723,69              | -412,04    | 365,04               | 262,23     |
| 6,00                | 1723,69              | -412,04    | 383,13               | 220,45     |
| 6,07                | 1723,69              | -412,04    | 384,63               | 217,31     |
|                     |                      |            |                      |            |
| Equipo No Operativo | Esfuerzos Admisibles |            | Esfuerzos Calculados |            |
| Altura              | Tensión              | Compresión | Tensión              | Compresión |
| [m]                 | [bar]                | [bar]      | [bar]                | [bar]      |
| 0,00                | 1723,69              | -412,04    | -6,58                | -6,58      |
| 1,00                | 1723,69              | -412,04    | -14,82               | -16,14     |
| 2,00                | 1723,69              | -412,04    | -22,95               | -31,70     |
| 3,00                | 1723,69              | -412,04    | -25,91               | -52,44     |
| 4,00                | 1723,69              | -412,04    | -22,31               | -79,73     |
| 5,00                | 1723,69              | -412,04    | -11,46               | -114,27    |
| 6,00                | 1723,69              | -412,04    | 6,63                 | -156,05    |
| 6,07                | 1723,69              | -412,04    | 8,13                 | -159,19    |

**Tabla 8.9 – Resumen Análisis Esfuerzos Silo Almacenamiento Carbón Natural (SIL – 1).**



**Figura 8.7 – Resumen Análisis Esfuerzos Silo Almacenamiento Carbón Natural (SIL – 1).**



**Figura 8.7 (cont.) – Resumen Análisis Esfuerzos Silo Almacenamiento Carbón Natural (SIL – 1).**

### 8.3.2 Silo Almacenamiento Carbón Activo (SIL – 2)

El silo de almacenamiento de carbón activo (SIL – 2), tiene que poseer una capacidad de almacenamiento de 46,80 [m<sup>3</sup>]. Con un diámetro estándar de 3,00 [m]. El proceso de cálculo se homologa del análisis mecánico del “silo de almacenamiento de carbón natural” (SIL – 1), donde las ecuaciones comprenden desde ecu.8.33 a ecu.8.73, entregando los resultados siguientes:

- **Silo Almacenamiento Carbón Activo (SIL – 2)**

| DIMENSIONES EQUIPO               |        |                         |
|----------------------------------|--------|-------------------------|
| Diámetro                         | 3,00   | [mm]                    |
| Volumen                          | 46,80  | [m <sup>3</sup> /etapa] |
| Altura                           | 6,62   | [m]                     |
| Densidad Material                | 550,00 | [kg/m <sup>3</sup> ]    |
| OPERACIONALES                    |        |                         |
| Presión Operación                | 2,0    | [bar]                   |
| Esfuerzo Admisible Tensión       | 1723,7 | [bar]                   |
| Esfuerzo Admisible Compresión    | 412,0  | [bar]                   |
| Espesor Manto (Carcaza)          | 4,0    | [mm]                    |
| Espesor Estándar Manto (Carcaza) | 6,0    | [mm]                    |
| Espesor Cabezal                  | 5,4    | [mm]                    |
| Espesor Estándar Cabezal         | 6,0    | [mm]                    |
| Espesor Seguridad por Corrosión  | 2,0    | [mm]                    |
| ANÁLISIS ESFUERZOS               |        |                         |
| Esfuerzo Operación               | 376,5  | [bar]                   |
| Esfuerzo Manto (Carcaza)         | 5,1    | [bar]                   |
| Esfuerzo Relleno                 | 66,6   | [bar]                   |
| Esfuerzo Cabezal                 | 1,0    | [bar]                   |
| Esfuerzo Soporte Relleno         | 2,6    | [bar]                   |
| Esfuerzo Escalera                | 0,6    | [bar]                   |
| Esfuerzo Viento                  | 7,7    | [bar]                   |
| Esfuerzo Sismo                   | 92,1   | [bar]                   |

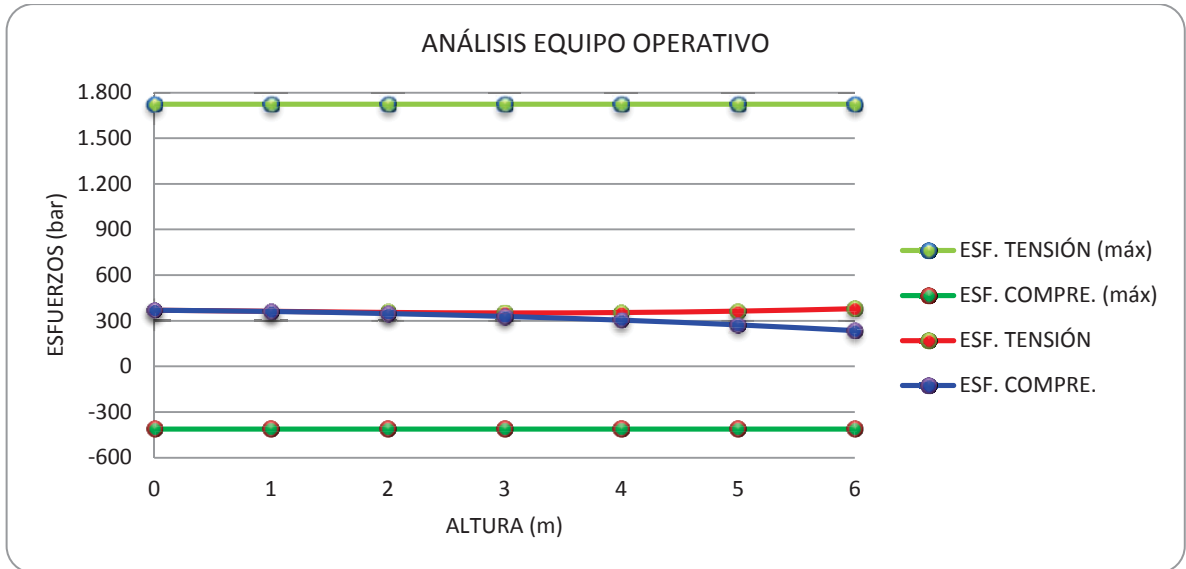
**Tabla 8.10 – Resumen Análisis Mecánico Silo Almacenamiento Carbón Activo (SIL – 2).**

| ANÁLISIS EQUIPO OPERATIVO    |        |       |
|------------------------------|--------|-------|
| Esfuerzo Total Tensión       | 392,6  | [bar] |
| Esfuerzo Total Compresión    | 208,4  | [bar] |
| ANÁLISIS EQUIPO NO OPERATIVO |        |       |
| Esfuerzo Total Tensión       | 16,1   | [bar] |
| Esfuerzo Total Compresión    | -168,1 | [bar] |

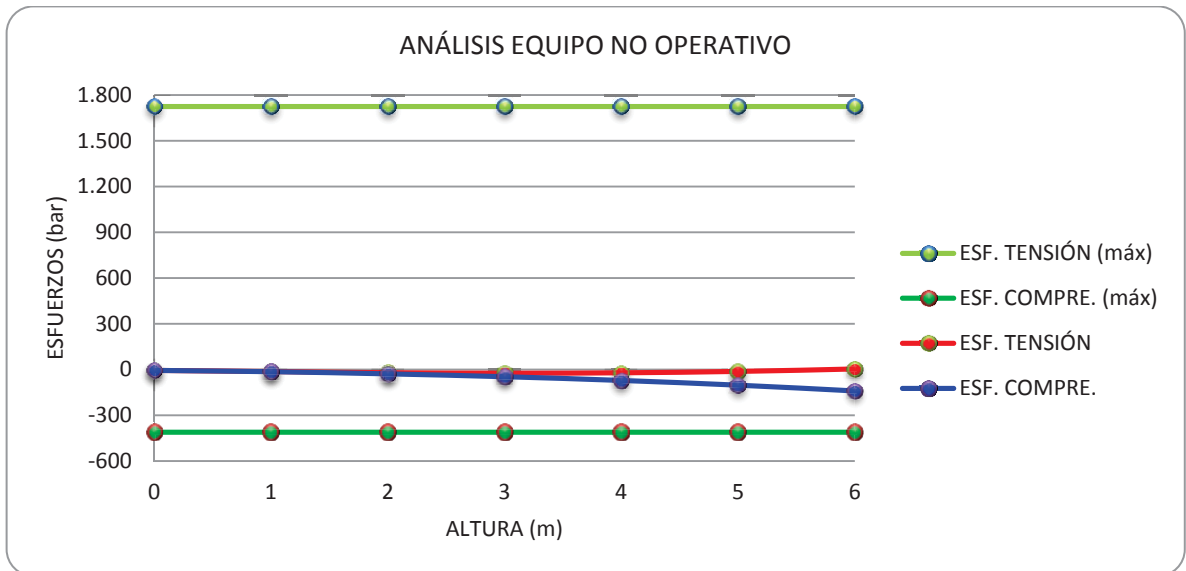
**Tabla 8.10 (cont.) – Resumen Análisis Mecánico Silo Almacenamiento Carbón Activo (SIL – 2).**

| Equipo Operativo    | Esfuerzos Admisibles |            | Esfuerzos Calculados |            |
|---------------------|----------------------|------------|----------------------|------------|
|                     | Tensión              | Compresión | Tensión              | Compresión |
| Altura              | Tensión              | Compresión | Tensión              | Compresión |
| [m]                 | [bar]                | [bar]      | [bar]                | [bar]      |
| 0,00                | 1723,69              | -412,04    | 369,42               | 369,42     |
| 1,00                | 1723,69              | -412,04    | 362,51               | 361,37     |
| 2,00                | 1723,69              | -412,04    | 354,79               | 347,22     |
| 3,00                | 1723,69              | -412,04    | 351,59               | 328,56     |
| 4,00                | 1723,69              | -412,04    | 354,20               | 304,08     |
| 5,00                | 1723,69              | -412,04    | 363,39               | 273,03     |
| 6,00                | 1723,69              | -412,04    | 379,36               | 235,20     |
| 6,62                | 1723,69              | -412,04    | 392,57               | 208,42     |
|                     |                      |            |                      |            |
| Equipo No Operativo | Esfuerzos Admisibles |            | Esfuerzos Calculados |            |
| Altura              | Tensión              | Compresión | Tensión              | Compresión |
| [m]                 | [bar]                | [bar]      | [bar]                | [bar]      |
| 0,00                | 1723,69              | -412,04    | -6,58                | -6,58      |
| 1,00                | 1723,69              | -412,04    | -13,99               | -15,13     |
| 2,00                | 1723,69              | -412,04    | -21,71               | -29,28     |
| 3,00                | 1723,69              | -412,04    | -24,91               | -47,94     |
| 4,00                | 1723,69              | -412,04    | -22,30               | -72,42     |
| 5,00                | 1723,69              | -412,04    | -13,11               | -103,47    |
| 6,00                | 1723,69              | -412,04    | 2,86                 | -141,30    |
| 6,62                | 1723,69              | -412,04    | 16,07                | -168,08    |

**Tabla 8.11 – Resumen Análisis Mecánico Silo Almacenamiento Carbón Activo (SIL – 2).**



**Figura 8.8 – Resumen Análisis Esfuerzos Silo Almacenamiento Carbón Activo (SIL – 2).**



**Figura 8.8 (cont.) – Resumen Análisis Esfuerzos Silo Almacenamiento Carbón Activo (SIL – 2).**

### 8.3.3 Correas Transportadoras

El empleo de las cintas transportadoras ha permitido realizar el transporte continuo de los materiales más diversos, en las más variadas circunstancias. Para poder elegir el tipo de cinta adecuado, es indispensable calcular la resistencia que deberá presentar el esqueleto de esta. Antes, sin embargo, es necesario calcular una serie de parámetros que permitirán escoger la más adecuada. Estos cálculos deberán comprender la capacidad de transporte de la cinta, su ancho, la velocidad de transporte, potencia necesaria para el transporte, tensiones de la cinta, etc. Se requieren las siguientes correas transportadoras.

- [CT – 1] = Correa Transportadora Materia Prima a Bodega, *largo* 10 [m]
- [CT – 2] = Correa Transportadora Carbón Natural a Silo, *largo* 5 [m]
- [CT – 3] = Correa Transportadora Carbón Activado a Silo, *largo* 5 [m]

- **Capacidad de Transporte:** La capacidad de transporte de una cinta depende para un material dado, de los siguientes factores:

- A. **Ancho de la Cinta:** dado que para este caso, el material a transportar posee una granulometría regular, producto de su chancado previo, la anchura de la cinta quedara determinada por:

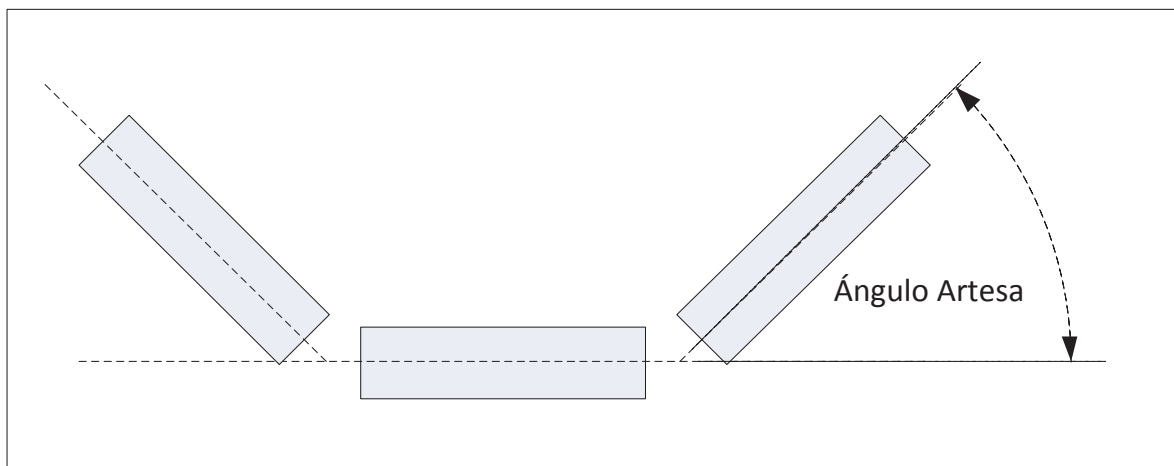
$$- A_C = 4 \cdot G + 15 \quad [cm] \quad \text{ecu. 8.74}$$

Donde:

- $A_C$  = Ancho mínimo de la cinta, [cm]
- $G$  = Granulometría del mineral, [cm]

Se considera  $A_C$  como el ancho mínimo de la cinta, ya que las dimensiones (ancho) de la cinta entregadas por los fabricantes son estandarizadas. Por ello deberá elegirse aquella que satisfaga nuestros requerimientos.

**B. Tonelaje a Transportar:** El tonelaje transportado por una cinta, aumenta a mayor ángulo de artesa de los rodillos. **Ver Figura 8.9:**



**Figura 8.9 – Ángulo de Artesa Para Cinta Transportadora.**

Normalmente se utiliza para instalaciones menores, una cinta plana o con un ángulo de artesa de  $20^\circ$  y para instalaciones mayores se utilizan ángulos de  $30^\circ$ . De esta forma dependiendo del ángulo de artesa tenemos:

$$- C_t = \frac{0,15 \cdot A_C^2 \cdot V_C \cdot P_e}{1000} \quad [Cinta Plana] \quad \text{ecu. 8.75 (a)}$$

$$- C_t = \frac{0,30 \cdot A_C^2 \cdot V_C \cdot P_e}{1000} \quad [Artesa en 20^\circ] \quad \text{ecu. 8.75 (b)}$$

$$- C_t = \frac{0,35 \cdot A_C^2 \cdot V_C \cdot P_e}{1000} \quad [Artesa en 30^\circ] \quad \text{ecu. 8.75 (c)}$$



Donde:

- $C_t$  = Capacidad teórica, [ton/h]
- $A_c$  = Ancho de la cinta, [mm]
- $V_c$  = Velocidad de la cinta, [m/s]
- $P_e$  = Peso específico del material, [ton/m<sup>3</sup>]

**C. Velocidad de la Cinta:** Una velocidad elevada permite utilizar una cinta más angosta y por consiguiente menos cara. Sin embargo, el régimen de carga de la cinta estará más propenso a fluctuaciones mientras más elevada sea la velocidad de transporte. Para determinar una velocidad de trabajo, suelen existir resúmenes prácticos de las velocidades máximas recomendables, según el producto a transportar. Para nuestro caso de estudio la velocidad debe estar entre 1,2 – 1,3 [m/s].

**D. Inclinación de la Cinta:** Su valor quedara determinado por la longitud necesaria de la cinta y la altura proyectada a alcanzar. **Ver Figura 8.10.** La inclinación máxima queda limitada al ángulo de fricción interna del material, valor que no debe ser sobrepasado, si no se desea tener el deslizamiento retrospectivo de la carga. Para el caso del material el ángulo no debe exceder los 20° de inclinación. En el caso de conocer la inclinación y desear determinar la largura de la cinta, bastara despejar esta, de la ecuación **ecu. 8.76**. Cuando la cinta transportadora posee una inclinación, su capacidad máxima disminuye en función de dicho ángulo de acuerdo a la relación de la **ecu. 8.77**. Donde la **ecu. 8.78**, representa la regresión lineal para determinar el valor del coeficiente de reducción, de acuerdo a los diferentes ángulos de inclinación de la cinta.

$$\text{- Inclinación} = \sin^{-1} \left[ \frac{\text{Altura de Descarga}}{\text{Largo de la Cinta}} \right] \quad \text{ecu. 8.76}$$

$$- C_r = a \cdot C_t \quad [ton/h] \quad \text{ecu. 8.77}$$

$$- a = 1,082 - 0,0149 \cdot (\text{inclinación}) \quad \text{ecu. 8.78}$$

Donde:

- $C_t$  = Capacidad teórica, [ton/h]
- $C_r$  = Capacidad real, [ton/h]
- $a$  = Coeficiente de reducción (según inclinación)

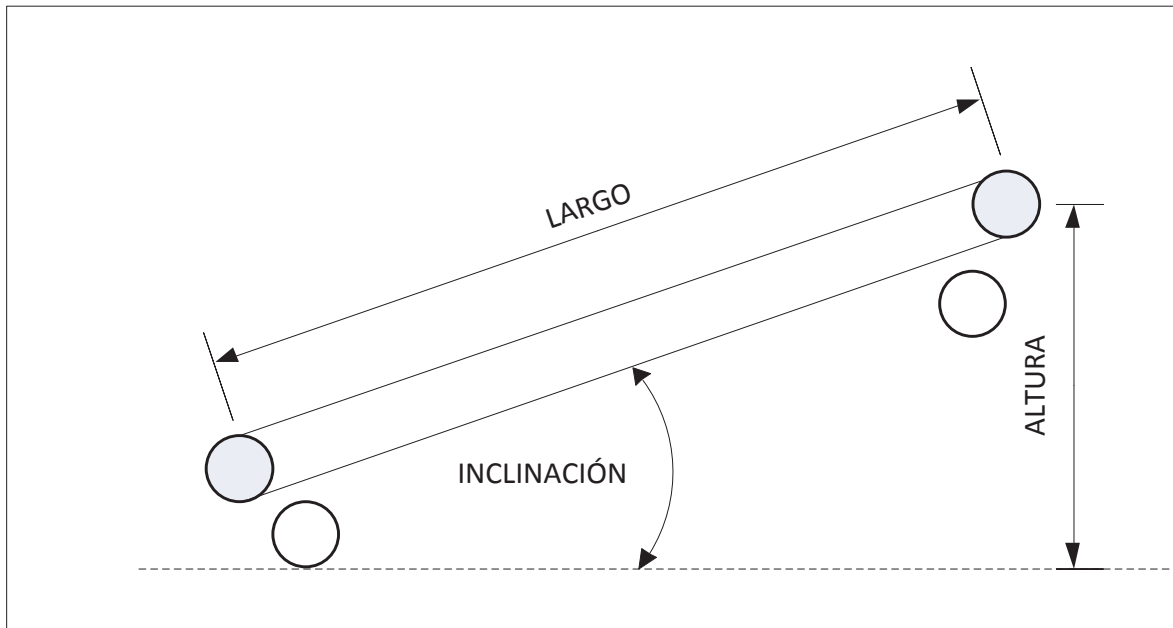


Figura 8.10 – Pendiente de una Cinta Transportadora.

- **Cálculos y Elección de la Cinta:** Determinadas las características de la instalación particularmente el ancho y la velocidad de la cinta, se hace necesario conocer la potencia requerida que debe suministrarse a la correa para asegurar la buena marcha de la misma. También es necesario determinar la tensión máxima a la que ella estará sometida con el fin de elegir la más adecuada.

**A. Potencia Absorbida:** La potencia total que deberá entregarse a la polea matriz será:

$$- P = P_1 + P_2 + P_3 \quad [CV] \quad \text{ecu. 8.79}$$

$$- P_1 = \frac{0,33 \cdot Q \cdot V_C \cdot (L_C + 45)}{1000} \quad [CV] \quad \text{ecu. 8.80}$$

$$- P_2 = \frac{1,1 \cdot C_t \cdot (L_C + 45)}{10000} \quad [CV] \quad \text{ecu. 8.81}$$

$$- P_3 = \frac{37 \cdot C_t \cdot H_C}{10000} \quad [CV] \quad \text{ecu. 8.82}$$

Donde:

- $P$  = Potencia total de la cinta, [CV]
- $P_1$  = Potencia de la cinta en vacío, [CV]
- $P_2$  = Potencia necesaria para el desplazamiento horizontal de la carga, [CV]
- $P_3$  = Potencia necesaria para el desplazamiento vertical de la carga, [CV]
- $Q$  = Peso partes móviles cinta, en relación a su longitud, [kg/m]
- $V_C$  = Velocidad de la cinta, [m/s]
- $L_C$  = Distancia entre los ejes de las poleas de cola y de cabeza, [m]
- $H_C$  = Altura a elevar la carga, [m]
- $C_t$  = Capacidad real, [ton/h]

**B. Potencia del Motor:** La potencia del motor, entregada por este a la polea matriz, deberá tener en consideración el rendimiento de la transmisión (acoplador, reductor, etc.), de esta forma tenemos que:

$$- P_{motor} = \frac{P}{n} \quad [CV] \quad \text{ecu. 8.83}$$

Donde:

- P = Potencia Absorbida total de la cinta, [CV]
- n = Rendimiento de la transmisión, [0,85]

**C. Tensión Máxima:** Para su determinación es necesario conocer previamente la tensión efectiva desarrollada en la polea motriz (**Figura 8.11**) y la tensión de la rama de retorno, la cuales quedan definidas por las siguientes ecuaciones:

$$- T_m = T_e + T_r \quad [kg] \quad \text{ecu. 8.84}$$

$$- T_e = \frac{P_{motor} \cdot 75}{V_C} \quad [kg] \quad \text{ecu. 8.85}$$

$$- T_r = k \cdot T_e \quad [kg] \quad \text{ecu. 8.86}$$

$$- k = \frac{e^{l \cdot b}}{e^{l \cdot b} - 1} \quad \text{ecu. 8.87}$$

Donde:

- $T_m$  = Tensión máxima, [kg]
- $T_e$  = Tensión efectiva, [kg]
- $T_r$  = tensión de la rama de retorno, [kg]
- $P_{motor}$  = Potencia del motor, [CV]
- $V_C$  = Velocidad de la cinta, [m/s]
- $k$  = Módulo de tensión.
- $l$  = Coeficiente de frotación cinta – polea (Limbo guarnecido con caucho), [0,35]
- $l$  = Coeficiente de frotación cinta – polea (Limbo desnudo), [0,25]
- $l$  = Coeficiente de frotación cinta – polea (Limbo desnudo húmedo), [0,10]
- $b$  = Arco descrito por la cinta (polea simple), 180 – 240 [grados]
- $b$  = Arco descrito por la cinta (polea doble), 420 – 480 [grados]

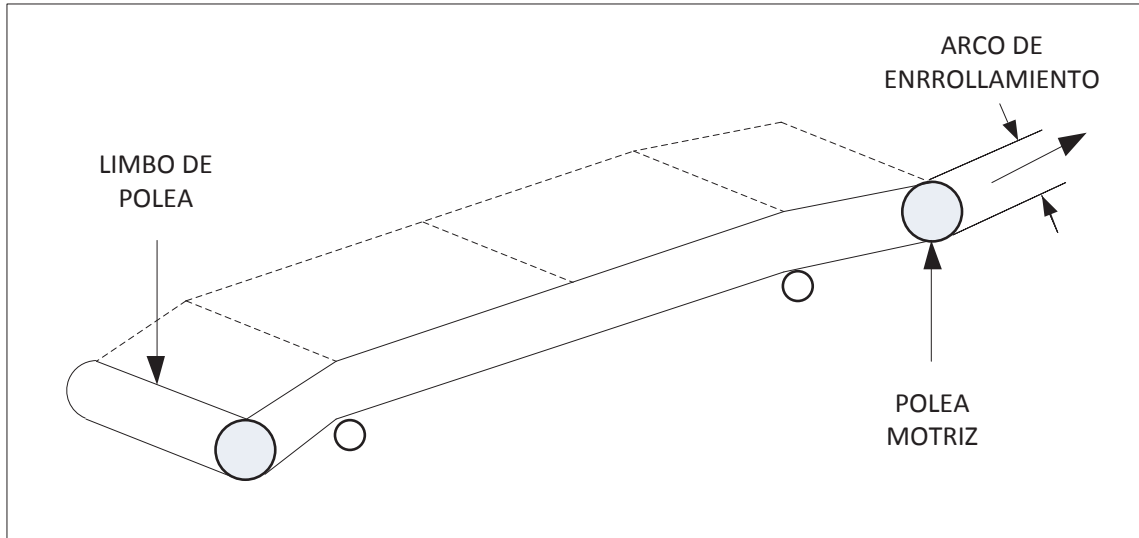


Figura 8.11 – Polea Motriz Simple (Ubicada en Cabeza).

- D. Tensión de Arranque:** Para evitar una fatiga excesiva en la cinta, la tensión de arranque ( $T_a$ ) debe ser mantenida a un valor razonable. Para las correas que arrancan frecuentemente con la carga, se recomienda que:

$$- T_a = 1,3 \cdot T_m \quad [kg] \quad \text{ecu. 8.88}$$

Donde:

- $T_a$  = Tensión de arranque, [kg]
- $T_m$  = Tensión máxima, [kg]

- E. Resistencia de la Cinta:** la cinta a seleccionar debe tener una resistencia a la tracción, dada por:

$$- R_C = \frac{T_m}{A_C} \quad [kg/cm] \quad \text{ecu. 8.89}$$

Donde:

- $R_C$  = Resistencia de la cinta, [ $kg/cm$ ]
- $T_m$  = Tensión máxima, [ $kg$ ]
- $A_C$  = Ancho de la cinta, [ $cm$ ]

- **Infraestructura:** La infraestructura de las correas transportadoras se desglosa a continuación:

- A. Largo de la Polea:** Se asume que el diámetro del tambor es función de la correa utilizada y de la tensión actuante. El largo, en tanto, es función del ancho de la misma y se recomienda que:

$$\text{Largo de Polea} = \begin{cases} A_C + 50 & A_C \leq 1000 \text{ [mm]} \\ A_C + 75 & A_C > 1000 \text{ [mm]} \end{cases} \quad \text{ecu. 8.90}$$

Donde:

- $A_C$  = Ancho de la cinta, [ $cm$ ]

- B. Distancia entre Polines:** Sus valores son normalmente entregados por los fabricantes según la cinta que se pretenda utilizar. Lo más usual es encontrar:

- *Polines de Carga* = 1,5 [ $m$ ]
- *Polines de Impacto* = 0,5 [ $m$ ]
- *Polines de Retorno* = 3,0 [ $m$ ]

- **Correa Transportadora Materia Prima a Bodega (CT – 1)**

| VARIABLE           | VALOR  | UNIDADES          |
|--------------------|--------|-------------------|
| $G$                | 1,00   | [ <i>cm</i> ]     |
| $A_C$              | 19,00  | [ <i>cm</i> ]     |
| $A_C$              | 190,00 | [ <i>mm</i> ]     |
| $V_C$              | 1,35   | [ <i>m/s</i> ]    |
| $C_t$              | 10,97  | [ <i>ton/h</i> ]  |
| $H_C$              | 5,00   | [ <i>m</i> ]      |
| $L_C$              | 14,62  | [ <i>m</i> ]      |
| <i>Inclinación</i> | 0,35   | [ <i>rad</i> ]    |
| <i>Inclinación</i> | 20,00  | [ <i>grados</i> ] |
| $a$                | 0,78   |                   |
| $C_r$              | 8,60   | [ <i>ton/h</i> ]  |
| $Q$                | 75,00  | [ <i>kg/m</i> ]   |
| $P_1$              | 1,99   | [ <i>CV</i> ]     |
| $P_2$              | 0,07   | [ <i>CV</i> ]     |
| $P_3$              | 0,20   | [ <i>CV</i> ]     |
| $P$                | 2,27   | [ <i>CV</i> ]     |
| $n$                | 0,85   |                   |
| $P_r$              | 1,93   | [ <i>CV</i> ]     |
| $T_e$              | 107,04 | [ <i>kg</i> ]     |
| $K$                | 1,29   | [ <i>kg</i> ]     |
| $T_r$              | 138,24 | [ <i>kg</i> ]     |
| $T_m$              | 245,29 | [ <i>kg</i> ]     |
| $T_a$              | 318,87 | [ <i>kg</i> ]     |
| $R_C$              | 12,91  |                   |
| $L_p$              | 240,00 | [ <i>mm</i> ]     |

**Tabla 8.12 – Correa Transportadora Materia Prima a Bodega, largo 15 [m] – (CT – 1).**

- **Correa Transportadora Carbón Natural a Silo (CT – 2)**

| VARIABLE           | VALOR  | UNIDADES          |
|--------------------|--------|-------------------|
| $G$                | 1,00   | [ <i>cm</i> ]     |
| $A_c$              | 19,00  | [ <i>cm</i> ]     |
| $A_c$              | 190,00 | [ <i>mm</i> ]     |
| $V_c$              | 1,35   | [ <i>m/s</i> ]    |
| $C_t$              | 10,97  | [ <i>ton/h</i> ]  |
| $H_c$              | 4,00   | [ <i>m</i> ]      |
| $L_c$              | 11,70  | [ <i>m</i> ]      |
| <i>Inclinación</i> | 0,35   | [ <i>rad</i> ]    |
| <i>Inclinación</i> | 20,00  | [ <i>grados</i> ] |
| $a$                | 0,78   |                   |
| $C_r$              | 8,60   | [ <i>ton/h</i> ]  |
| $Q$                | 75,00  | [ <i>kg/m</i> ]   |
| $P_1$              | 1,89   | [ <i>CV</i> ]     |
| $P_2$              | 0,07   | [ <i>CV</i> ]     |
| $P_3$              | 0,16   | [ <i>CV</i> ]     |
| $P$                | 2,13   | [ <i>CV</i> ]     |
| $n$                | 0,85   |                   |
| $P_r$              | 1,81   | [ <i>CV</i> ]     |
| $T_e$              | 100,35 | [ <i>kg</i> ]     |
| $K$                | 1,29   | [ <i>kg</i> ]     |
| $T_r$              | 129,60 | [ <i>kg</i> ]     |
| $T_m$              | 229,94 | [ <i>kg</i> ]     |
| $T_a$              | 298,93 | [ <i>kg</i> ]     |
| $R_c$              | 12,10  |                   |
| $L_p$              | 240,00 | [ <i>mm</i> ]     |

**Tabla 8.13 – Correa Transportadora Carbón Natural a Silo, largo 12 [m] – (CT – 2).**



- **Correa Transportadora Carbón Activado a Silo (CT – 3)**

| VARIABLE           | VALOR  | UNIDADES          |
|--------------------|--------|-------------------|
| $G$                | 1,00   | [ <i>cm</i> ]     |
| $A_C$              | 19,00  | [ <i>cm</i> ]     |
| $A_C$              | 190,00 | [ <i>mm</i> ]     |
| $V_C$              | 1,35   | [ <i>m/s</i> ]    |
| $C_t$              | 10,97  | [ <i>ton/h</i> ]  |
| $H_C$              | 4,00   | [ <i>m</i> ]      |
| $L_C$              | 11,70  | [ <i>m</i> ]      |
| <i>Inclinación</i> | 0,35   | [ <i>rad</i> ]    |
| <i>Inclinación</i> | 20,00  | [ <i>grados</i> ] |
| $a$                | 0,78   |                   |
| $C_r$              | 8,60   | [ <i>ton/h</i> ]  |
| $Q$                | 75,00  | [ <i>kg/m</i> ]   |
| $P_1$              | 1,89   | [ <i>CV</i> ]     |
| $P_2$              | 0,07   | [ <i>CV</i> ]     |
| $P_3$              | 0,16   | [ <i>CV</i> ]     |
| $P$                | 2,13   | [ <i>CV</i> ]     |
| $n$                | 0,85   |                   |
| $P_r$              | 1,81   | [ <i>CV</i> ]     |
| $T_e$              | 100,35 | [ <i>kg</i> ]     |
| $K$                | 1,29   | [ <i>kg</i> ]     |
| $T_r$              | 129,60 | [ <i>kg</i> ]     |
| $T_m$              | 229,94 | [ <i>kg</i> ]     |
| $T_a$              | 298,93 | [ <i>kg</i> ]     |
| $R_C$              | 12,10  |                   |
| $L_p$              | 240,00 | [ <i>mm</i> ]     |

**Tabla 8.14 – Correa Transportadora Carbón Activado a Silo, largo 12 [m] – (CT – 3).**

## 8.4 Bombas de Servicio

| CÓDIGO | FLUJO BOMBAS   |
|--------|----------------|
| B1     | A <sub>2</sub> |
| B2     | A <sub>3</sub> |
| B3     | A <sub>4</sub> |
| B4     | A <sub>5</sub> |
| B5     | F <sub>8</sub> |

### 8.4.1 Bombas (B1 – B5)

Se utilizarán bombas centrifugas autocebantes (éstas tienen un recipiente que actúa como una reserva de agua que ayuda a cebar la bomba).

- **Cálculo de los Diámetros de las Cañerías:** Para el cálculo de los diámetros de las cañerías se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$- v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \left(\frac{D}{12}\right)^2} \quad [\text{pies/s}] \quad \text{ecu. 8.91}$$

$$- D = 12 \cdot \left(\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}\right)^{1/2} \quad [\text{pulg}] \quad \text{ecu. 8.92}$$

Donde:

- $D$  = Diámetro interno de las cañerías, [pulg]
- $Q$  = Caudal de succión y descarga, [pie<sup>3</sup>/s]
- $v$  = Velocidad de succión y descarga, [pies/s]

Las velocidades se estiman del **Anexo V**, las cuales son supuestas y deben encontrarse en el rango de 2,0 a 16,0 [pie/s] (para líneas de agua); por lo tanto los diámetros son estimativos y debido a esto se realiza una estandarización en el **Anexo V** y se recalculan las velocidades reales. Las velocidades deben cumplir con la siguiente relación:

$$- \frac{1}{3} \cdot v_d < v_s < \frac{2}{3} \cdot v_d \quad [\text{pies/s}] \quad \text{ecu. 8.93}$$

Donde:

- $v_d$  = Velocidad de descarga, [pies/s]
- $v_s$  = Velocidad de succión, [pies/s]

- **Cálculo del Número de Reynolds:** Para el cálculo del número de Reynolds se utiliza la siguiente ecuación:

$$- Re = \left( \frac{d_i}{12} \cdot \frac{v \cdot \rho}{\mu} \right) \quad \text{ecu. 8.94}$$

Donde:

- $Re$  = Número de Reynolds.
- $D$  = Diámetro interno de las cañerías, [pulg]
- $v$  = Velocidad de succión o descarga, [pies/s]
- $\rho$  = Densidad del agua, 62,4 [lb/pie<sup>3</sup>]
- $\mu$  = Viscosidad del agua, 0,00067 [lb/pies · s]

- **Cálculo de la Rugosidad Relativa:** Considerando cañerías de acero comercial tanto para la succión como para la descarga, se obtiene de la **Figura A5.1** del **Anexo V** lo siguiente, dependiendo del diámetro utilizado:

$$- \frac{e}{d_d} ; \text{ leer de gráfico} \quad \text{ecu. 8.95}$$

$$- \frac{e}{d_s} ; \text{ leer de gráfico} \quad \text{ecu. 8.96}$$

Donde:

- $\varepsilon$  = Rugosidad absoluta, [pulg]
- $d_d$  = Diámetro de descarga, [pulg]
- $d_s$  = Diámetro de succión, [pulg]

- **Cálculo del Factor de Fricción:** Para el cálculo del factor de fricción se utiliza la **Figura A5.2** del **Anexo V**, en la cual se ingresa con  $Re$  y  $\varepsilon/d$ . De la Figura se obtiene  $f_s$  y  $f_d$ . A estos factores se les aplica un factor de seguridad de 1,5, donde finalmente se obtiene un factor de fricción corregido  $f_c$ , tanto para la descarga, como para la succión.

$$- f_c = 1,5 \cdot f \quad \text{ecu. 8.97}$$

Donde:

- $f_c$  = Factor de fricción corregido, descarga y succión.

- **Cálculo de las Pérdidas por Fricción:** Para el cálculo de las pérdidas por fricción se utiliza la ecuación de Darcy, tanto para la descarga, como para la succión:

$$- hf = f_c \cdot \left(\frac{Lt}{d}\right) \cdot \left(\frac{v^2}{2 \cdot g_c}\right) \quad [pies \cdot lb_f/lb_m] \quad \text{ecu. 8.98}$$

Donde:

- $hf$  = Pérdidas por Fricción,  $[pies \cdot lb_f/lb_m]$
- $f_c$  = Factor de fricción corregido, descarga y succión.
- $Lt$  = Largo total,  $[pies]$
- $D$  = Diámetro interno de las cañerías,  $[pulg]$
- $v$  = Velocidad de succión o descarga,  $[pies/s]$
- $g_c$  = Constante dimensional de la Ley de Newton,  $[lb_m \cdot pies/lb_f \cdot s^2]$

- **Cálculo del Trabajo Requerido por la Bomba:** Para el cálculo del trabajo requerido por la bomba se utiliza la ecuación **ecu. 8.99**. La energía cinética, representada en la ecuación de Balance de Energía por las velocidades se desprecian, ya que las velocidades lineales son bastante similares. Es por ello que la ecuación de balance de energía se reduce a la **ecu. 8.100**.

$$- (-W) = hf_s + hf_d + \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho}\right) + \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g_c}\right) + (z_2 - z_1) \cdot \frac{g}{g_c} \quad [pies \cdot lb_f/lb_m] \quad \text{ecu. 8.99}$$

$$- (-W) = hf_s + hf_d + \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho}\right) + (z_2 - z_1) \cdot \frac{g}{g_c} \quad [pies \cdot lb_f/lb_m] \quad \text{ecu. 8.100}$$

$$- (-W_r) = \frac{(-W)}{n} \quad [pies \cdot lb_f/lb_m] \quad \text{ecu. 8.101}$$

Donde:

- $-W$  = Trabajo requerido por la bomba,  $[pies \cdot lb_f/lb_m]$
- $-W_r$  = Trabajo real por la bomba,  $[pies \cdot lb_f/lb_m]$
- $n$  = Eficiencia, [60%]
- $hf$  = Pérdidas por Fricción,  $[pies \cdot lb_f/lb_m]$
- $P_1$  = Presión altura de elevación base,  $[lb_f/pie^2]$
- $P_2$  = Presión altura de elevación final,  $[lb_f/pie^2]$
- $\rho$  = Densidad del agua,  $62,4 [lb/pie^3]$
- $v$  = Velocidad de succión o descarga,  $[pies/s]$
- $z_1$  = Altura de elevación base,  $[pies]$
- $z_2$  = Altura de elevación final,  $[pies]$
- $g$  = Aceleración de gravedad,  $[pies/s^2]$
- $g_c$  = Constante dimensional de la Ley de Newton,  $[lb_m \cdot pies/lb_f \cdot s^2]$

- **Cálculo de la Potencia Requerida por la Bomba:** Para el cálculo de la potencia se utiliza la siguiente ecuación:

$$- PO = \frac{(-W_r) \cdot \rho \cdot Q}{550} \quad [HP] \quad \text{ecu. 8.102}$$

$$- PO_r = PO \cdot Fe \quad [HP] \quad \text{ecu. 8.103}$$

Donde:

- $PO$  = Potencia requerida por la bomba,  $[HP]$
- $-W_r$  = Trabajo real por la bomba,  $[pies \cdot lb_f/lb_m]$
- $Q$  = Caudal de succión y descarga,  $[pie^3/s]$
- $\rho$  = Densidad del agua,  $62,4 [lb/pie^3]$
- $Fe$  = Factor de seguridad, [1,2]

- **Flujos por Bombas de Proceso:**

| BOMBAS | FLUJO          | [kg/h] | [m <sup>3</sup> /h] | [m <sup>3</sup> /s] | [pies <sup>3</sup> /s] |
|--------|----------------|--------|---------------------|---------------------|------------------------|
| B1     | A <sub>2</sub> | 10.837 | 10,84               | 0,003               | 0,106                  |
| B2     | A <sub>3</sub> | 28.784 | 28,78               | 0,008               | 0,282                  |
| B3     | A <sub>4</sub> | 11.948 | 11,95               | 0,003               | 0,117                  |
| B4     | A <sub>5</sub> | 39.117 | 39,12               | 0,011               | 0,384                  |
| B5     | F <sub>8</sub> | 12.573 | 12,57               | 0,003               | 0,123                  |

Tabla 8.15 – Flujo por Bomba de Proceso.

- **Diámetros Calculados de Cañerías de Bombas de Proceso:**

| ITEM                 | UNIDAD                | B1   | B2   | B3   | B4   | B5   |
|----------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|
| <i>Q</i>             | [pie <sup>3</sup> /s] | 0,11 | 0,28 | 0,12 | 0,38 | 0,12 |
| <i>v<sub>s</sub></i> | [pies/s]              | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| <i>v<sub>d</sub></i> | [pies/s]              | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 |
| <i>d<sub>s</sub></i> | [pulg]                | 1,97 | 3,22 | 2,07 | 3,75 | 2,13 |
| <i>d<sub>d</sub></i> | [pulg]                | 1,56 | 2,54 | 1,64 | 2,97 | 1,68 |

Tabla 8.16 – Diámetros de Cañerías de Bombas de Proceso.

- **Diámetros Estándar de Cañerías de Bombas de Proceso:**

| BOMBAS | SUCCIÓN                                |  |            | DESCARGA                               |  |            |
|--------|--|--|------------|--|--|------------|
|        | <i>d<sub>s</sub></i> Nominal<br>[pulg] | <i>d<sub>s</sub></i> Interno<br>[pulg] | CÉDULA     | <i>d<sub>d</sub></i> Nominal<br>[pulg] | <i>d<sub>d</sub></i> Interno<br>[pulg] | CÉDULA     |
| B1     | 2                                      | 2,07                                   | 40 ST 40 S | 1 1/2                                  | 1,61                                   | 40 ST 40 S |
| B2     | 3 1/2                                  | 3,55                                   | 41 ST 40 S | 3                                      | 3,07                                   | 41 ST 40 S |
| B3     | 2 1/2                                  | 2,47                                   | 42 ST 40 S | 2                                      | 2,07                                   | 42 ST 40 S |
| B4     | 4                                      | 4,03                                   | 43 ST 40 S | 3                                      | 3,07                                   | 43 ST 40 S |
| B5     | 2 1/2                                  | 2,47                                   | 44 ST 40 S | 2                                      | 2,07                                   | 44 ST 40 S |

Tabla 8.17 – Diámetros Estándar de Cañerías de Bombas de Proceso.

- **Velocidades de Flujo de Cañerías de Bombas de Proceso:**

| ITEM       | B1<br>[pies/s] | B2<br>[pies/s] | B3<br>[pies/s] | B4<br>[pies/s] | B5<br>[pies/s] |
|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| $v_s$ Real | 4,56           | 4,11           | 3,53           | 4,34           | 3,71           |
| $v_d$ Real | 7,52           | 5,50           | 5,03           | 7,47           | 5,29           |

Tabla 8.18 – Velocidades de Flujo de Cañerías de Bombas de Proceso.

- **Reynolds de Flujo de Cañerías de Bombas de Proceso:**

| BOMBAS | REYNOLDS | REYNOLDS |
|--------|----------|----------|
|        | SUCCIÓN  | DESCARGA |
| B1     | 73.188   | 93.963   |
| B2     | 11.3245  | 130.963  |
| B3     | 67.553   | 80.691   |
| B4     | 13.5627  | 177.977  |
| B5     | 71.083   | 84.907   |

Tabla 8.19 – Reynolds de Flujo de Cañerías de Bombas de Proceso.

- **Rugosidad de Cañerías de Bombas de Proceso:**

| BOMBAS | RUGOSIDAD         | RUGOSIDAD          |
|--------|-------------------|--------------------|
|        | SUCCIÓN<br>[pulg] | DESCARGA<br>[pulg] |
| B1     | 0,00090           | 0,00150            |
| B2     | 0,00050           | 0,00060            |
| B3     | 0,00070           | 0,00090            |
| B4     | 0,00045           | 0,00060            |
| B5     | 0,00070           | 0,00090            |

Tabla 8.20 – Rugosidad de Cañerías de Bombas de Proceso.



- Factores de Fricción Corregidos de Cañerías de Bombas de Proceso:

| BOMBAS | FACTOR DE FRICCIÓN CORREGIDOS | FACTOR DE FRICCIÓN CORREGIDOS |
|--------|-------------------------------|-------------------------------|
|        | SUCCIÓN                       | DESCARGA                      |
| B1     | 0,0338                        | 0,0360                        |
| B2     | 0,0285                        | 0,0300                        |
| B3     | 0,0330                        | 0,0338                        |
| B4     | 0,0285                        | 0,0293                        |
| B5     | 0,0330                        | 0,0330                        |

Tabla 8.21 – Factores de Fricción Corregidos de Cañerías de Bombas de Proceso.

- Pérdidas de Carga por Fricción de Cañerías de Bombas de Proceso:

| BOMBAS | PÉRDIDAS POR FRICCIÓN |                  |  |  |
|--------|-----------------------|------------------|--|--|
|        | $Lt_s$<br>[pies]      | $Lt_d$<br>[pies] | $hf_s$<br>[pies · lb <sub>f</sub> /lb <sub>m</sub> ] | $hf_d$<br>[pies · lb <sub>f</sub> /lb <sub>m</sub> ] |
| B1     | 7,0                   | 60,0             | 0,0369   | 1,1780   |
| B2     | 7,0                   | 60,0             | 0,0148   | 0,2756   |
| B3     | 7,0                   | 60,0             | 0,0181   | 0,3849   |
| B4     | 7,0                   | 60,0             | 0,0145   | 0,4962   |
| B5     | 7,0                   | 60,0             | 0,0200   | 0,4167   |

Tabla 8.22 – Pérdidas de Carga por Fricción de Cañerías de Bombas de Proceso.

- Trabajo Real de Bombas de Proceso:

| BOMBAS | POTENCIA BOMBAS |                 |  |  |  |  |
|--------|-----------------|-----------------|--|--|--|--|
|        | $Z_1$<br>[pies] | $Z_2$<br>[pies] | $P_1$<br>[lb <sub>f</sub> /pies <sup>2</sup> ] | $P_2$<br>[lb <sub>f</sub> /pies <sup>2</sup> ] | $(-W)$<br>[pies · lb <sub>f</sub> /lb <sub>m</sub> ] | $(-W_r)$<br>[pies · lb <sub>f</sub> /lb <sub>m</sub> ] |
| B1     | 17,0            | 4,0             | 2.048,2  | 4.096,3  | 21,06  | 35,10  |
| B2     | 17,0            | 4,0             | 2.048,2  | 4.096,3  | 20,13  | 33,55  |
| B3     | 17,0            | 17,0            | 2.048,2  | 4.096,3  | 33,23  | 55,38  |
| B4     | 0,0             | 17,0            | 2.048,2  | 4.096,3  | 50,31  | 83,85  |
| B5     | 0,0             | 4,0             | 2.048,2  | 4.096,3  | 37,25  | 62,09  |

Tabla 8.23 – Trabajo Real de Bombas de Proceso.

- **Potencia Estándar de Bombas de Proceso:**

| BOMBAS | POTENCIA BOMBAS |                 |  |  |              |                            |
|--------|-----------------|-----------------|--|--|--------------|----------------------------|
|        | $Z_1$<br>[pies] | $Z_2$<br>[pies] | $P_1$<br>[lb <sub>f</sub> /pies <sup>2</sup> ] | $P_2$<br>[lb <sub>f</sub> /pies <sup>2</sup> ] | (PO)<br>[HP] | (PO <sub>r</sub> )<br>[HP] |
| B1     | 17,0            | 4,0             | 2.048,2  | 4.096,3  | 0,51         | 1,00                       |
| B2     | 17,0            | 4,0             | 2.048,2  | 4.096,3  | 1,29         | 2,00                       |
| B3     | 17,0            | 17,0            | 2.048,2  | 4.096,3  | 0,88         | 1,00                       |
| B4     | 0,0             | 17,0            | 2.048,2  | 4.096,3  | 4,38         | 5,00                       |
| B5     | 0,0             | 4,0             | 2.048,2  | 4.096,3  | 1,04         | 1,00                       |

**Tabla 8.24 – Potencia Estándar de Bombas de Proceso.**

## 8.5 Equipos Principales

| CÓDIGO | EQUIPOS PRINCIPALES                   |
|--------|---------------------------------------|
| CA – 1 | Caldera                               |
| H – 1  | Horno Rotatorio                       |
| IC – 1 | Intercambiador de Calor (Condensador) |
| TR – 1 | Torre de Absorción                    |
| ES – 1 | Enfriador Productos Horno Rotatorio   |

### 8.5.1 Caldera (CA – 1)

Se necesita una Caldera, que produzca 600,0 [kg/h], de vapor saturado, a una presión de 5 – 7 [bar]. Para esto se cotizó una caldera SERVIMET, de Llama Reversa, modelo REVERSIT-600-VP2. Esta caldera cuenta con fogón de retorno con fondo refrigerado por agua, de tres pasos de gases, cilíndrico horizontal piro tubular. Esta es una caldera tipo paquete con todos sus accesorios y equipos instalados lista para funcionar, siendo necesario solo conectar energía eléctrica, agua de alimentación, desagüe y el vapor a los puntos de consumo.

Lleva una puerta frontal abisagrada y pernos que permite inspeccionar todo el interior de la caldera y hacer la limpieza de los tubos a ciertos intervalos; la puerta lleva cordón de fibra de vidrio trenzado en un anillo especial lo que la hace estanca a los gases. La caja de humos trasera tiene salida de los gases hacia arriba y una tapa de apertura total. El quemador tiene flange y se aperna al frente de la puerta; la que lleva una mirilla de observación de la llama en el hogar con vidrio templado, copla de bronce atornillada y empaquetadura de Tadit. A continuación se detallan los accesorios del equipo. Ver **Tabla 8.25 – 26 y Figura 8.12**.

- **Refractarios:** La tapa frontal de la caldera irá protegida con concreto refractario, soportados por anclas, tipo V, soldadas y lleva, además, el cono refractario para el quemador.
- **Aislación:** El cuerpo de la caldera se aislará con lana mineral de 50 [mm] de espesor en colchonetas afianzadas correctamente y una chaqueta metálica en plancha delgada de 0,8 [mm] de espesor soportada por platinas y separadores intermedios, todo afirmado con remaches pop. La superficie exterior se protegerá con esmalte de terminación.
- **Accesorios:** Un conjunto de accesorios para el funcionamiento de la caldera compuesto por; controlador automático de nivel Mc – Donell, controladores de presión, controles visuales de nivel, válvula de seguridad, válvulas de purga, manómetro y un conjunto de fitting y cañerías de instalación en la caldera.
- **Quemador:** Un quemador presurizado de Petróleo Diesel, italiano, marca Riello modelo RL 38, de dos etapas, con una potencia térmica de hasta 380.000 [kcal/h], completamente automático.
- **Bombas de Agua:** Para la caldera dos motobombas de agua de alimentación, importadas, marca Calpeda formada por: (1) Bomba de alta presión, para caldera, cuerpo de fierro fundido, rodete de bronce especial, eje de acero inoxidable, descansos de rodamientos, para operación con agua caliente a no más de 85,0 [°C]: (2) Motores de 3 [HP], 2900 r.p.m., 380 V. trifásico, 50 [Hz].
- **Chimenea:** Una chimenea para la extracción de los gases de la combustión, con una altura desde el piso de 6,0 [metros]. Construida en paños con bridas para el acoplamiento. Llevará un sombrerete de protección contra la lluvia. Pintada con Aluminio resistente a la temperatura.

- **Estanque de Condensado:** Un estanque para agua y condensado, elevado, de 500,0 [litros] de capacidad total, fondos planos, de medidas adecuadas, lleva válvula de flotador para controlar nivel y coplas para llaves nivel con sus respectivas llaves y tubo de vidrio para control visual. Lleva una tapa de registro y es pintado exteriormente con esmalte de terminación.
- **Estanques de Purgas:** Un estanque para la expansión de purgas, de 50,0 [litros] de capacidad, diseñado de acuerdo con el reglamento de calderas del S.N.S.. Pintado exteriormente con anticorrosivo y esmalte de terminación.
- **Ablandador de Agua:** Un equipo ablandador de agua, tipo intercambio iónico, modelo AS-10 Simplex, flujo máximo de 400,0 [l/h], capacidad 700,0 [g] de  $CaCO_3$ . Rendimiento entre regeneración de 2,3 [ $m^3$ ], por columna con agua de dureza de 300 ppm. Lleva 10 [litros] de resina sintética y tiene un consumo de sal por regeneración de 3 [kg], Se incluye un medidor de agua de 1/2 " diámetro para control de flujo y un set para análisis de dureza del agua.

| <b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b> |                  |
|----------------------------------|------------------|
| MARCA:                           | SERVIMET         |
| MODELO:                          | REVERSIT-600-VP2 |
| PRODUCCIÓN VAPOR                 | 600 [kg/h]       |
| SUPERFICIE DE CALEFACCIÓN        | 9,6 [ $m^2$ ]    |
| PRESIÓN DE TRABAJO               | 5 [bar]          |
| COMBUSTIBLE                      | Petróleo Diesel  |
| PODER CALORÍFICO INFERIOR        | 8.670 [kcal/l]   |
| CONSUMO MÁX COMBUSTIBLE          | 47,3 [l/h]       |
| EFICIENCIA TÉRMICA               | 89%              |

**Tabla 8.25 – Especificaciones Técnicas Caldera de Vapor Saturado – SERVIMET.**

| ESPECIFICACIÓN DE MATERIALES y DIMENSIONES |                       |
|--|-----------------------|
| MANTO ACERO                                | ACERO A 36            |
| FOGÓN ACERO                                | ACERO A 515 GR. 70    |
| PLACAS TUBULARES                           | ACERO A 515 GR. 70    |
| TUBOS S/C MANNESMANN                       | NORMA DIN 17175 ST.35 |
| BASES Y OTROS                              | ACERO A 37-24 ES      |
| LARGO TOTAL                                | 2.380 [mm]            |
| ANCHO TOTAL                                | 960 [mm]              |
| ALTURA TOTAL                               | 2.200 [mm]            |
| PESO SIN AGUA                              | 2.320 [kg]            |

Tabla 8.26 – Especificación de Materiales y Dimensión Caldera de Vapor Saturado – SERVIMET.



Figura 8.12 – Caldera de Vapor Saturado – SERVIMET.

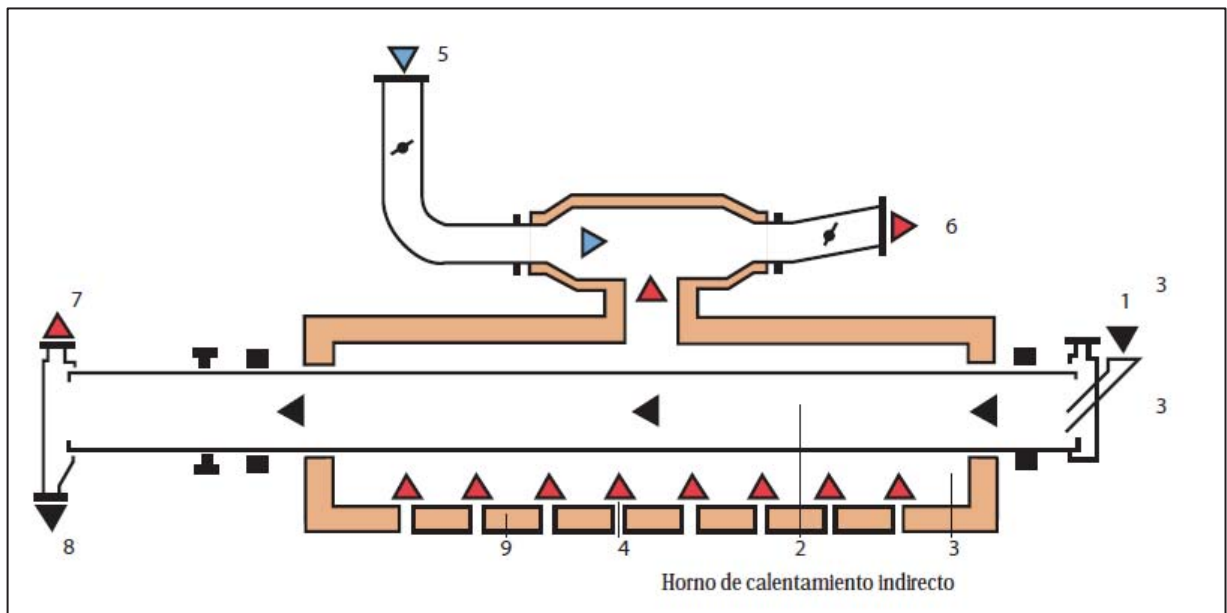
## 8.5.2 Horno Rotatorio (H – 1)

En los procesos de pirólisis conocidos que utilizan un horno rotatorio calentado indirectamente, el material a procesar se hace pasar a un extremo del horno. El horno se suele colocar sobre unos rodillos y se encuentra con una ligera inclinación sobre la horizontal. La materia prima se introduce en el extremo superior del horno. Se pasa a través del tambor giratorio del horno y la parte no volátil se distribuye en el extremo inferior. El calor generado en la parte externa que rodea el horno proporciona la energía necesaria para la pirólisis.

El horno tiene una pared de acero que se calienta a una temperatura predeterminada y el calor pasa por conducción a través de la estructura de acero y por lo tanto al material que se somete a pirólisis. En estos procesos de pirólisis, es necesario mantener el aire fuera del recinto, de lo contrario los gases de pirólisis podrían explotar. Además, no se debe permitir que los gases de pirólisis producidos se escapen del recinto y causen contaminación a la atmósfera.

- **Horno Rotativo de Calentamiento Indirecto:** El secado, la calcinación parcial de impurezas orgánicas, la regeneración térmica y otros procesos térmicos no permiten a menudo su realización en el propio seno de los humos de combustión, o en presencia de oxígeno como en el caso de los procesos de pirólisis, sobre todo si se trata de productos de granulometría muy fina. Para estos casos se han desarrollado hornos de calentamiento indirecto: En el interior de un túnel de calentamiento, revestido de mampostería refractaria rueda el tambor, que está bañado en su exterior totalmente por los humos proveniente de los equipos de combustión. Para poder alcanzar el perfil de temperaturas deseado y necesario para el proceso, se utilizarán varias unidades pequeñas de quemadores. La termo – transferencia desde los humos al producto se realizará por contacto a través de la virola. Mediante el empleo

de chapas refractarias de elevada calidad son posibles cotas de temperaturas de proceso de 800 [°C] y más. Ver **Figura 8.13**. Mediante la subdivisión del túnel de calentamiento en zonas diferenciadas, es posible combinar distintos procesos, como por ejemplo secado/calcinación. Los hornos rotativos de calentamiento indirecto se construyen tanto para procesos continuos como discontinuos. En este último caso, la virola puede quedar cerrada completamente en uno de los testeros. La carga y descarga se realizará desde el mismo lado. Invertiendo el sentido de rotación del horno, las palas de transporte en el interior del horno inducirán al producto el sentido de transporte deseado. El horno puede montarse sobre un bastidor basculante, pudiendo variar de este modo la inclinación del aparato e influir así sobre la salida y el tiempo de permanencia del producto. El horno rotativo de calentamiento indirecto es especialmente ecológico, puesto que los humos de calentamiento no están contaminados con trazas del producto. Ver **Figura 8.14**.



**Figura 8.13 – Esquema Horno Rotatorio de Calentamiento Indirecto – INGETECSA.**



Donde:

1. Alimentación
2. Horno rotativo
3. Túnel de calentamiento
4. Quemador
5. Aire de enfriamiento
6. Gases de deshecho
7. Salida de vahos
8. Salida de producto
9. Mampostería refractaria



**Figura 8.14 – Horno Rotatorio de Calentamiento Indirecto – INGETECSA.**

- **Diseño Conceptual:** El diseño conceptual del horno rotatorio del presente proyecto consta de un cuerpo cilíndrico, el cual utiliza ladrillo refractario en la parte interior de un cilindro de acero que será la estructura, con una capa exterior de aislante térmico y una lámina que sostenga dicho aislante. Para la rotación de este cuerpo cilíndrico se le colocaran anillos de acero que tendrán la función de estar en contacto con los apoyos que permitan la libre rotación, además de un engrane, que será donde se genere la rotación para el horno rotatorio. El sistema de alimentación será una tapa que tendrá una resbaladilla por la cual se alimentara la materia prima molida al horno rotatorio. Allí también estará instalado el quemador que será el que genere el calor necesario. Para el sello de la tapa con el cuerpo cilíndrico se utilizara una cejilla tipo C de forma tal que la pérdida de los gases sea mínima y a la vez no interfiera con la rotación del horno. Así mismo, en este sistema se genera la activación por medio de vapor de agua. Para generar el vapor de agua se utilizará un difusor, el cual mandara al interior del horno partículas de agua por medio de presión neumática que al entra en contacto con el calor interno del horno cambia de fase líquida a vapor. Con esto, se logrará llevar a cabo la activación, controlar los gases internos del horno y disminuir la temperatura a la salida del material.

Para la etapa de pirólisis y activación necesitamos una producción de 1.270 [kg/h] de procesamiento de material, tanto cuando se realiza la pirólisis (Cáscaras de Nueces), como cuando se realiza la activación (Carbón Natural). El horno rotativo es un horno continuo, a calentamiento externo y llama libre. También se utiliza en la fabricación de cal, aluminio, hierro esponja, etc.

- **Descripción del Horno Rotativo:** El horno consiste en un cilindro de acero, recubierto en su interior por ladrillos refractarios, que se encuentran ligeramente inclinado respecto a la horizontal (menos de 10 grados) y que gira lentamente, a velocidades inferiores a 5,0 [r.p.m]. El cilindro cuenta con

llantas de acero que se apoyan sobre rodillos. Los rodillos soportan el peso del horno y su carga. Absorben dicho peso según dos componentes, la de mayor importancia perpendicular al eje del horno y la otra, de mucho menor valor, paralela al eje del horno. La componente perpendicular es absorbida en cada llanta mediante un par de rodillos, con ejes paralelos al horno, denominados de apoyo. La componente axial es soportada por un único rodillo, de eje perpendicular al del horno, denominado de empuje. La cantidad de llantas y los consiguientes apoyos depende de la longitud del horno, En general, se puede señalar que las llantas se encuentran distanciadas entre sí cada 25 o 30 [m]. El movimiento rotativo del horno es impulsado por un piñón acoplado a una corona (rígidamente vinculada al cilindro de acero). Generalmente el motor que produce la rotación es eléctrico, del tipo asincrónico o de corriente continua y, a través de un reductor de velocidad, moviliza al piñón. El calentamiento del horno se efectúa con gases calientes que se producen por combustión, en un quemador, de gas, fuel-oil, u otros combustibles. Habitualmente el quemador se ubica en el extremo más bajo. En la punta opuesta del horno se ubica la chimenea por donde se evacuan los gases del mismo. Esto significa que el extremo inferior del horno, donde se ubica el quemador, es la zona más caliente. Los gases producidos van recorriendo el horno y entregando su calor, saliendo por el extremo opuesto. El material a procesar es alimentado por el extremo superior del horno (lado de la chimenea), mediante dispositivos apropiados tales como roscas transportadoras, rampas, etc. A consecuencia de la inclinación y rotación del horno, el material se desplaza a lo largo del mismo hasta el extremo inferior (lado del quemador), donde sale a través de la boca de descarga. El material circula a contracorriente con respecto al calor. En los extremos el horno cuenta con cabezales no rígidamente vinculados al cilindro de acero. A efectos de evitar pérdidas de gases y material (en polvo), entre los extremos del cilindro y los cabezales, se colocan cierres herméticos en forma de laberintos o friccionantes.

- Dimensiones de los Hornos Rotativos Industriales:** En los hornos rotativos industriales que trabajan en las fábricas de cemento portland nacionales, se encuentran distintos tamaños de diámetros y largos. Como dato ilustrativo daremos como ejemplo el más pequeño, ubicado en una planta en Mendoza que tiene un diámetro de 2,10 [m] y una longitud de 69,0 [m]. El de mayor tamaño se encuentra en una planta localizada en Barker (Pcia. de Bs. As.), tiene un diámetro de 5,65 [m] y una longitud de 180 m; su capacidad de producción alcanza a 2.000 [ton/día] de clinker de cemento. Actualmente el horno de mayor capacidad de producción es el N° 7 de la empresa Loma Negra, ubicado a en Olavarría, que produce 2.600 [ton/día] de clinker. La elevada producción se consigue como consecuencia de que el horno cuenta, a la salida de los gases, con torres de precalentamiento del material que ingresa y eleva su temperatura de entrada a 800 [°C].
- Dimensionamiento del Horno:** Con el objeto de dimensionar el horno rotativo es necesario determinar, en función de las condiciones operativas, la velocidad de alimentación del material; la velocidad de desplazamiento del material en el horno; el volumen del horno ocupado por el material; la velocidad de rotación del horno y la pendiente del horno. La velocidad de alimentación del material está dada por la masa de material horario entrado al horno y se designará como  $G$  [kg/h]. La velocidad de desplazamiento del material dentro del horno, es la que desarrolla el material desde que ingresa hasta que sale del mismo y se designa con  $V$  [m/h]. A mayor velocidad de desplazamiento, menor tiempo de permanencia de las partículas en el horno. El horno funciona con un volumen de material muy inferior al volumen del horno, entre 3% y 12% del mismo. A los efectos del dimensionamiento se define un parámetro denominado Retención:  $R = [\text{Volumen Material} / \text{Volumen del Horno}]$ . El valor más usual es  $R = 0,10$  (10%). La velocidad de rotación del horno se mide en revoluciones por minuto, se designa  $N$  [r.p.m.]. La pendiente del Horno se mide como la relación entre la diferencia de alturas entre los extremos del horno y la longitud del horno, se designa  $S$  [m/m]. En la **Figura 8.15** se ubican

los elementos citados, es decir:  $G, V, N, S$  y  $M$  [kg] que es la masa del material que se encuentra dentro del horno. También se señala  $t$  [min], que es el tiempo de permanencia del material dentro de horno y que se denomina tiempo de paso. A continuación, se vincularán los elementos citados para llegar a expresiones que permitan dimensionar un horno rotatorio.

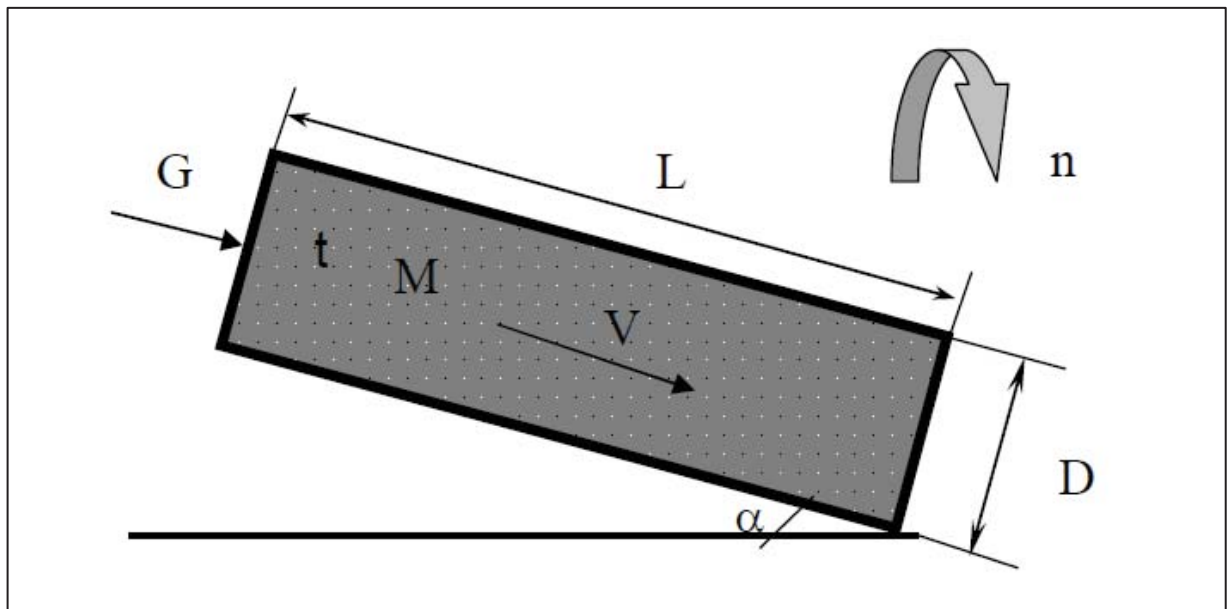


Figura 8.15 – Esquema y Dimensionamiento Horno Rotatorio.

Donde:

1.  $G$  = Velocidad de alimentación
2.  $V$  = Velocidad desplazamiento del material dentro del horno
3.  $M$  = Masa de material que se encuentra en el horno
4.  $S$  = Pendiente del horno
5.  $N$  = Velocidad de rotación del horno
6.  $t$  = Tiempo de permanecía
7.  $R$  = Retención, relación, entre volumen de material y el volumen del horno

El Manual Técnico del Fabricante de Hornos Allis Chalmers da una expresión empírica para el cálculo del tiempo de paso  $t$  [min], la que se detalla en la ecuación **ecu.8.104**:

$$- \quad t = \frac{1,77 \cdot \sqrt{\theta} \cdot L \cdot F}{N \cdot D \cdot S} \quad [min] \quad \text{ecu. 8.104}$$

Donde:

- $t$  = tiempo de residencia en el horno de los sólidos, [min]
- $\theta$  = Ángulo de reposo del material, [rad]
- $L$  = Longitud del horno, [m]
- $F$  = Factor de forma del horno (para cilindros  $F = 1$ )
- $D$  = Diámetro interno del horno, [m]
- $S$  = Pendiente del horno, [m]
- $N$  = Revoluciones por minuto, [rpm]

En el Manual del Ingeniero Químico de Perry, aparece una fórmula similar donde se han hecho las reducciones de unidades correspondientes del sistema inglés al métrico. Además adopta un valor fijo del ángulo de reposo, teniendo en cuenta que los materiales que se tratan en el horno rotativo tienen ángulos de reposo comprendidos entre 35° y 40°. La expresión dada es la siguiente:

$$- \quad t = \frac{0,19 \cdot L}{N \cdot D \cdot S} \quad [min] \quad \text{ecu. 8.105}$$

Donde:

- $t$  = tiempo de residencia en el horno de los sólidos, [min]
- $L$  = Longitud del horno, [m]
- $D$  = Diámetro interno del horno, [m]

- $S$  = Pendiente del horno,  $[m]$
- $N$  = Revoluciones por minuto,  $[rpm]$

Considerando un  $N = 1,0 [rpm]$ ,  $S = 1/24 [m/m]$  y  $t = 30,0 [min]$  según consideraciones de diseño y reordenando la **ecu. 8.105**, obtenemos:

$$- L = 6,58 \cdot D \quad [min] \quad \text{ecu. 8.106}$$

Donde:

- $L$  = Longitud del horno,  $[m]$
- $D$  = Diámetro interno del horno,  $[m]$

Considerando un  $D = 1,5 [m]$ , el largo de diseño del horno rotatorio será de  $L = 9,87 [m] = 32,38 [pies]$ . El volumen del horno rotatorio será de  $V_H = 17,43 [m^3] = 615,53 [pie^3]$ :

$$- V_H = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4} \quad [m^3] \quad \text{ecu. 8.107}$$

Donde:

- $V_H$  = Volumen del horno rotatorio,  $[m^3]$
- $L$  = Longitud del horno,  $[m]$
- $D$  = Diámetro interno del horno,  $[m]$

La retención de sólidos dentro del horno rotatorio se determina en base a la **ecu. 8.108**, donde entrega un  $R = 635,0 [kg] = 1.400,0 [lb_m]$ .

$$- R = t \cdot W \quad [kg] \quad \text{ecu. 8.108}$$

Donde:

- $R$  = Retención de sólidos dentro del horno rotatorio, [kg]
- $t$  = tiempo de residencia en el horno de los sólidos, [h]
- $W$  = Carga del material a tratar, [kg/h]

Para determinar el volumen ocupado por el sólido dentro del horno rotatorio  $W$  [kg], se debe saber la densidad aparente del material a ingresar, dado que son dos materiales distintos para alimentar el horno, tanto las cáscaras de nueces como el carbón natural de cáscaras de nueces, por lo tanto se debe considerar el material de menor densidad, para que entregue el volumen mayor. La densidad del carbón natural de cáscaras de nueces es  $\rho = 550,0$  [kg/m<sup>3</sup>].

$$- V_D = \frac{R}{\rho} \quad [kg/m^3] \quad \text{ecu. 8.109}$$

Donde:

- $R$  = Retención de sólidos dentro del horno rotatorio, [kg]
- $V_D$  = Volumen ocupado por el sólido, [m<sup>3</sup>]
- $\rho$  = Densidad de carbón natural de cáscaras de nueces, [kg/m<sup>3</sup>]

De acuerdo a la bibliografía los equipos rotatorios normalmente son operados entre un 3% y un 12% de su volumen lleno con material sólido. En este caso el volumen corresponde a aproximadamente un 6,6 [%].



### 8.5.3 Intercambiador de Calor (IC – 1)

Se requiere un intercambiador de calor para bajar la temperatura de los gases provenientes del horno rotatorio desde 900 a 120 °C, esto ayuda a calentar el agua con que se alimenta la caldera, las ecuaciones de diseño son las siguientes:

- **Balance de Energía:** El balance de energía se encuentra desarrollado en el capítulo anterior, donde para efectos de diseño se considera la etapa de activación.

$$- Q = W \cdot C_p^c + (T_1 - T_2) = w \cdot C_p^f + (t_1 - t_2) \quad [BTU/h] \quad \text{ecu. 8.104}$$

Donde:

- $Q$  = Flujo de calor,  $[BTU/h]$
- $W$  = Flujo del fluido caliente,  $[lb_m/h]$
- $C_p^c$  = Capacidad calorífica del fluido caliente,  $[BTU/lb_m \cdot ^\circ F]$
- $T_1$  = Temperatura de entrada del fluido caliente,  $[^\circ F]$
- $T_2$  = Temperatura de salida del fluido caliente,  $[^\circ F]$
- $w$  = Flujo del fluido frío,  $[lb_m/h]$
- $C_p^f$  = Capacidad calorífica del fluido frío,  $[BTU/lb_m \cdot ^\circ F]$
- $t_1$  = Temperatura de entrada del fluido frío,  $[^\circ F]$
- $t_2$  = Temperatura de salida del fluido frío,  $[^\circ F]$

Para desarrollar el diseño de cualquier equipo, primero se debe conocer las propiedades físicas de los flujos involucrados, los cuales se calculan con las temperaturas calóricas respectivas, ver **Tabla 8.27**:

| ITEM   | AIRE  | AGUA   | UNIDADES                             |
|--------|-------|--------|--------------------------------------|
| $k$    | 0,024 | 0,381  | [ $Btu/h \cdot pie \cdot ^\circ F$ ] |
| $\mu$  | 0,019 | 1,000  | [ $cp$ ]                             |
| $Cp$   | 0,250 | 1,000  | [ $Btu/lb \cdot ^\circ F$ ]          |
| $\rho$ | 0,077 | 62,400 | [ $lb/pie^3$ ]                       |

Tabla 8.27 – Propiedades Físicas de Fluidos.

Donde:

- $k$  = Conductividad térmica, [ $Btu/h \cdot pie \cdot ^\circ F$ ]
- $\mu$  = Viscosidad, [ $cp$ ]
- $Cp$  = Capacidad calorífica, [ $BTU/lb_m \cdot ^\circ F$ ]
- $\rho$  = Densidad, [ $lb_m/pie^3$ ]

- **Diferencia Logarítmica de Temperaturas (LMTD):** Para el cálculo de la diferencia de temperatura se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$- \Delta T_{LMTD} = \left[ \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{LN \left[ \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)} \right]} \right] \quad [^\circ F] \quad \text{ecu. 8.105}$$

$$- \Delta T = F_T \cdot \Delta T_{LMTD} \quad [^\circ F] \quad \text{ecu. 8.106}$$

$$- R = \frac{(T_1 - T_2)}{(t_2 - t_1)} \quad \text{ecu. 8.107}$$

$$- S = \frac{(t_2 - t_1)}{(T_1 - t_1)} \quad \text{ecu. 8.108}$$

Donde:

- $\Delta T_{LMTD}$  = Diferencia logarítmica media de temperatura, [ $^\circ F$ ]
- $\Delta T$  = Diferencia real de temperatura, [ $^\circ F$ ]
- $F_T$  = Factor de corrección de temperatura.

- $T_1$  = Temperatura de entrada del fluido caliente, [ $^{\circ}F$ ]
- $T_2$  = Temperatura de salida del fluido caliente, [ $^{\circ}F$ ]
- $t_1$  = Temperatura de entrada del fluido frío, [ $^{\circ}F$ ]
- $t_2$  = Temperatura de salida del fluido frío, [ $^{\circ}F$ ]

- **Cálculo del Área del Intercambiador:** Para el cálculo del área del intercambiador se utiliza la siguiente ecuación:

$$- A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T} \quad [pie^2] \quad \text{ecu. 8.109}$$

Donde:

- $A$  = Superficie de transferencia de calor, [ $pie^2$ ]
- $Q$  = Flujo de calor, [ $BTU/h$ ]
- $\Delta T$  = Diferencia real de temperatura, [ $^{\circ}F$ ]
- $U$  = Coeficiente global de transferencia de calor, [ $Btu/h \cdot pie^2 \cdot ^{\circ}F$ ]

El coeficiente global de transferencia de calor [ $U$ ] se estima de la **Tabla A5.5** del **Anexo V**, el cual se va a considerar un  $U = 50 [Btu/h \cdot pie^2 \cdot ^{\circ}F]$ .

- **Cálculo del Número de Tubos (Agua):** Este cálculo se hace mediante la siguiente ecuación:

$$- N_T = \frac{A}{a' \cdot L} \quad \text{ecu. 8.110}$$

Donde:

- $N_T$  = Número de tubos.
- $A$  = Superficie de transferencia de calor, [ $pie^2$ ]
- $L$  = Largo de los tubos, 16,00 [ $pie$ ]
- $a'$  = Superficie por pie lineal, [ $pie^2/pie\ lineal$ ]

Los datos mostrados a continuación se obtienen de la **Tabla A5.8** del **Anexo V**, los cuales muestran la selección de equipos, ver **Tabla 8.28**:

| ITEM  | VALOR  | UNIDADES                |
|-------|--------|-------------------------|
| Tubos | 13,0   | BWG                     |
| $D_I$ | 0,5600 | [ $pulg$ ]              |
| $D_E$ | 0,7500 | [ $pulg$ ]              |
| $a''$ | 0,2470 | [ $pulg^2$ ]            |
| $a'$  | 0,1963 | [ $pie^2/pie\ lineal$ ] |
| $L$   | 16,0   | [ $pie$ ]               |

Tabla 8.28 – Datos Tubos Seleccionados.

- **Fluido del lado de los Tubos (Agua):** La disposición de los tubos se obtiene de la **Tabla A5.9** del **Anexo V**, con tipo de arreglo cuadrado. Ver **Tabla 8.29**.

$$- a_T = \frac{N_T \cdot a''}{144 \cdot N^\circ Pasos} \quad [pulg^2] \quad \text{ecu. 8.111}$$

$$- G_T = \frac{w}{a_T} \quad [lb_m/h \cdot pie^2] \quad \text{ecu. 8.112}$$

$$- v_T = \frac{G_T}{3600 \cdot \rho} \quad [pie/s] \quad \text{ecu. 8.113}$$

Donde:

- $a_T$  = Área de flujo por los tubos, [ $pie^2$ ]
- $N_T$  = Número de tubos.
- $a''$  = Área de flujo por tubos, [ $pulg^2$ ]
- $N^\circ Tubos$  = N° de tubos seleccionado.
- $G_T$  = Velocidad másica en los tubos, [ $lb_m/h \cdot pie^2$ ]
- $v_T$  = Velocidad en los tubos, [ $pie/s$ ]
- $w$  = Flujo del fluido frío, [ $lb_m/h$ ]
- $\rho$  = Densidad, [ $lb_m/pie^3$ ]

| ITEM            | VALOR  | UNIDADES       |
|-----------------|--------|----------------|
| <i>Pitch</i>    | 1,0    | [ <i>pie</i> ] |
| $D_E$           | 0,7500 | [ <i>pie</i> ] |
| $D_S$           | 10,0   | [ <i>pie</i> ] |
| <i>N° Pasos</i> | 2,0    | -              |
| <i>N° Tubos</i> | 52,0   | -              |

**Tabla 8.29 – Datos Tubos Seleccionados.**

La velocidad debe cumplir con un parámetro de diseño para que la siguiente relación se cumpla:  $3 < v_T < 8$  [ $pie/s$ ]

- **Cálculo del Coeficiente de Transferencia de Calor Tubos (Agua):** Se obtiene de la **Figura A5.8** del **Anexo V**, en base a la velocidad del fluido a través de los tubos, el promedio de las temperaturas de entrada y salida del fluido frío (agua) y su corrección en base al diámetro interno de los tubos.

$$- h_i(v_T, ^\circ t) \approx 1.450 \quad [Btu/h \cdot pie^2 \cdot ^\circ F] \quad \text{ecu. 8.114}$$

$$- \quad h_{io} = h_i \cdot \frac{D_I}{D_E} \quad [Btu/h \cdot pie^2 \cdot ^\circ F] \quad \text{ecu. 8.115}$$

Donde:

- $h_i$  = Coeficiente de transferencia de calor para flujo interior,  $[Btu/h \cdot pie^2 \cdot ^\circ F]$
- $h_{io}$  = Valor de  $h_i$  cuando se refiere al diámetro exterior,  $[Btu/h \cdot pie^2 \cdot ^\circ F]$
- $D_I$  = Diámetro interior de los tubos,  $[pulg]$
- $D_E$  = Diámetro exterior de los tubos,  $[pulg]$

- **Fluido del lado de la Carcaza (Gases):** Para realizar los cálculos del lado de la carcaza, se utilizan las siguientes ecuaciones::

$$- \quad C' = Pitch - D_o \quad [pulg] \quad \text{ecu. 8.116}$$

$$- \quad a_S = \frac{D_S \cdot C' \cdot B}{144 \cdot Pitch} \quad [pulg^2] \quad \text{ecu. 8.117}$$

$$- \quad G_S = \frac{W}{a_S} \quad [lb_m/h \cdot pie^2] \quad \text{ecu. 8.118}$$

Donde:

- $C'$  = Espaciamiento entre los tubos,  $[pulg]$
- $Pitch$  = Arreglo de los tubos en la carcaza,  $[pulg]$
- $D_E$  = Diámetro exterior de los tubos,  $[pulg]$
- $a_S$  = Área de flujo de la carcaza,  $[pie^2]$
- $D_S$  = Diámetro interno de la carcaza,  $[pulg]$
- $B$  = Espaciamiento de los deflectores,  $[pulg]$
- $G_T$  = Velocidad másica en la carcaza,  $[lb_m/h \cdot pie^2]$
- $W$  = Flujo del fluido caliente,  $[lb_m/h]$

- **Cálculo del Coeficiente de Transferencia de Calor Carcaza (Gases):** Este coeficiente se calcula en base a las siguientes ecuaciones:

$$- \frac{h_o \cdot D_e}{k} = 0,36 \cdot \left( \frac{D_e \cdot G_S}{\mu} \right)^{0,55} \cdot \left( \frac{C_p^c \cdot \mu}{k} \right)^{0,33} \cdot \left( \frac{\mu}{\mu_W} \right)^{0,14} \quad \text{ecu. 8.119}$$

Donde:

- $h_o$  = Coeficiente de transferencia de calor para flujo exterior,  $[Btu/h \cdot pie^2 \cdot ^\circ F]$
- $D_e$  = Diámetro equivalente de espaciamiento entre los tubos,  $[pulg]$
- $k$  = Conductividad térmica,  $[Btu/h \cdot pie \cdot ^\circ F]$
- $G_S$  = Velocidad másica en los carcaza,  $[lb_m/h \cdot pie^2]$
- $\mu$  = Viscosidad,  $[Cp]$
- $C_p^c$  = Capacidad calorífica del fluido caliente,  $[BTU/lb_m \cdot ^\circ F]$
- $\mu/\mu_W$  = Razón de viscosidad.

- **Cálculo del Coeficiente Global de Transferencia de Calor:** Este coeficiente se calcula en base a las siguientes ecuaciones:

$$- U_C = \frac{(h_o \cdot h_{io})}{h_o + h_{io}} \quad [Btu/h \cdot pie^2 \cdot ^\circ F] \quad \text{ecu. 8.120}$$

$$- A_{real} = N_T^{real} \cdot L \cdot a' \quad [pie^2] \quad \text{ecu. 8.121}$$

$$- U_D = \frac{Q}{A_{real} \cdot \Delta T} \quad [Btu/h \cdot pie^2 \cdot ^\circ F] \quad \text{ecu. 8.122}$$

Donde:

- $U_C$  = Coeficiente global de transferencia de calor limpio,  $[Btu/h \cdot pie^2 \cdot ^\circ F]$
- $U_D$  = Coeficiente global de transferencia de calor de diseño,  $[Btu/h \cdot pie^2 \cdot ^\circ F]$

- $h_o$  = Coeficiente de transferencia de calor para flujo exterior,  $[Btu/h \cdot pie^2 \cdot ^\circ F]$
  - $h_{io}$  = Valor de  $h_i$  cuando se refiere al diámetro exterior,  $[Btu/h \cdot pie^2 \cdot ^\circ F]$
  - $A_{real}$  = Superficie de transferencia de calor real,  $[pie^2]$
  - $Q$  = Flujo de calor,  $[BTU/h]$
  - $\Delta T$  = Diferencia real de temperatura,  $[^\circ F]$
  - $N_T^{real}$  = Número de tubos.
  - $A$  = Superficie de transferencia de calor,  $[pie^2]$
  - $L$  = Largo de los tubos, 16,00  $[pie]$
  - $a'$  = Superficie por pie lineal,  $[pie^2/pie\ lineal]$
- **Cálculo del Factor de Obstrucción:** El equipo se diseñó en forma adecuado desde el punto de vista de la transferencia de calor, debido a que el  $Rd_{CALCULADO} > Rd_{PERMITIDO}$

$$- Rd = \frac{(U_C - U_D)}{U_C \cdot U_D} \quad [h \cdot pie^2 \cdot ^\circ F/Btu] \quad \text{ecu. 8.123}$$

Donde:

- $Rd$  = Factor de obstrucción,  $[h \cdot pie^2 \cdot ^\circ F/Btu]$
- $U_C$  = Coeficiente global de transferencia de calor,  $[Btu/h \cdot pie^2 \cdot ^\circ F]$
- $U_D$  = Coeficiente global de transferencia de calor de diseño,  $[Btu/h \cdot pie^2 \cdot ^\circ F]$

- **Cálculo de Caída de Presión en los Tubos:** Para el cálculo de las caídas de presión en los tubos se utilizan las siguientes ecuaciones.

$$- \Delta P_T = \frac{f \cdot G_T^2 \cdot L \cdot N^\circ Pasos}{5.22 \cdot 10^{10} \cdot S \cdot \phi} \quad [psi] \quad \text{ecu. 8.124}$$



$$- \Delta P_R = \frac{4 \cdot N^\circ \text{ Pasos}}{S} \cdot \left( \frac{V^2}{2 \cdot g} \right) \quad [\text{psi}] \quad \text{ecu. 8.125}$$

$$- \Delta P_{TOTAL} = (\Delta P_T + \Delta P_R) \quad [\text{psi}] \quad \text{ecu. 8.126}$$

$$- \phi = \left[ \frac{\mu}{\mu_W} \right]^{0,14} \quad \text{ecu. 8.127}$$

Donde:

- $\Delta P_T$  = Caída de presión en los tubos, [psi]
- $\Delta P_R$  = Caída de presión por retorno, [psi]
- $\Delta P_{TOTAL}$  = Caída de presión total, [psi]
- $f$  = Factor de fricción en los tubos, [pie<sup>2</sup>/pulg<sup>2</sup>]
- $S$  = Gravedad específica.
- $\phi$  = Razón de viscosidad.
- $G_T$  = Velocidad másica en los tubos, [lb<sub>m</sub>/h · pie<sup>2</sup>]
- $L$  = Largo de los tubos, 16,00 [pie]
- $N^\circ \text{ Pasos}$  = Número de pasos en los tubos.
- $V^2/2 \cdot g$  = Factor de caída de presión por retorno, [psi]

El valor de  $f$  para  $\Delta P_T$  se obtiene de la **Figura A5.5** del **Anexo V** y el valor de la relación  $V^2/2g$  para  $\Delta P_R$  se obtiene de la **Figura A5.4** del **Anexo V**. Ver **Tabla 8.30**.

| ITEM     | VALOR   | UNIDADES                               |
|----------|---------|--|
| $f$      | 0,00021 | [pie <sup>2</sup> /pulg <sup>2</sup> ] |
| $V^2/2g$ | 0,2700  | [psi]                                  |
| $S$      | 1,0     | -                                      |
| $\phi$   | 1,0     | -                                      |

**Tabla 8.30 – Datos Caída de Presión por Tubos Seleccionados.**

- **Cálculo de Caída de Presión en la Carcaza:** Para el cálculo de las caídas de presión en la carcaza se utilizan las siguientes ecuaciones.

$$- \Delta P_S = \frac{f \cdot G_S^2 \cdot D_S \cdot (N+1)}{5.22 \cdot 10^{10} \cdot D_e \cdot S \cdot \emptyset} \quad [psi] \quad \text{ecu. 8.128}$$

$$- (N + 1) = \frac{12 \cdot L}{B} \quad \text{ecu. 8.129}$$

$$- \emptyset = \left[ \frac{\mu}{\mu_W} \right]^{0,14} \quad \text{ecu. 8.130}$$

Donde:

- $(N + 1)$  = N° veces que el fluido cruza el haz desde la entrada a la salida.
- $\Delta P_S$  = Caída de presión total de la carcaza, [psi]
- $f$  = Factor de fricción en la carcaza, [pie<sup>2</sup>/pulg<sup>2</sup>]
- $S$  = Gravedad específica.
- $\emptyset$  = Razón de viscosidad.
- $G_S$  = Velocidad másica en la carcaza, [lb<sub>m</sub>/h · pie<sup>2</sup>]
- $L$  = Largo de los tubos, 16,00 [pie]
- $B$  = Espaciamiento entre los deflectores, [pulg]
- $D_e$  = Diámetro equivalente, [pie]

El valor de  $f$  para  $\Delta P_S$  se obtiene de la **Figura A5.6** del **Anexo V**. Ver **Tabla 8.31**.

| ITEM        | VALOR  | UNIDADES                               |
|-------------|--------|--|
| $f$         | 0,0015 | [pie <sup>2</sup> /pulg <sup>2</sup> ] |
| $S$         | 1,0    | -                                      |
| $\emptyset$ | 1,0    | -                                      |

**Tabla 8.31 – Datos Caída de Presión por Carcaza Seleccionados.**

- **Parámetros de Diseño del intercambiador de Calor:**

| ITEM  | CANTIDAD | UNIDAD |
|-------|----------|--------|
| $W$   | 8.895    | [lb/h] |
| $w$   | 63.458   | [lb/h] |
| $T_1$ | 1.652    | [°F]   |
| $T_2$ | 248      | [°F]   |
| $t_1$ | 59       | [°F]   |
| $t_1$ | 122      | [°F]   |

**Tabla 8.32 – Balances de Materiales.**

| ITEM       | CANTIDAD | UNIDAD                          |
|------------|----------|---------------------------------|
| $U_C$      | 22,81    | [Btu/h · pie <sup>2</sup> · °F] |
| $A_{real}$ | 163,32   | [pie <sup>2</sup> ]             |
| $U_D$      | 40,24    | [Btu/h · pie <sup>2</sup> · °F] |
| $Rd$       | 0,07     | [h · pie <sup>2</sup> · °F/Btu] |

**Tabla 8.33 – Resultados de Diseño del Intercambiador de Calor.**

| ITEM               | CANTIDAD | UNIDAD |
|--------------------|----------|--------|
| $\Delta P_{TOTAL}$ | 7,75     | [psi]  |
| $\Delta P_S$       | 0,02     | [psi]  |

**Tabla 8.34 – Caídas de Presión.**

## 8.5.4 Torre de Absorción (TR – 1)

Se diseñó una torre de con un número determinado de platos, para la absorción casi completa de  $SO_2$ , de  $CO$  y  $CO_2$  para determinar el número de platos necesarios o elementos de equilibrio, se utilizaron datos de equilibrio y se hicieron estimaciones en función de concentraciones conocidas de entradas y salidas de soluto en la corriente gaseosa y líquida. De esta manera el diseño de ésta se realizó de la siguiente manera, se utilizó el balance de energía para la torre:

$$- L_O \cdot H_{LO} + G_{Np+1} \cdot H_{G,Np+1} = L_{NP} \cdot H_{L,Np} + G_l \cdot H_{Gl} + Q_T \quad \text{ecu. 8.131}$$

Donde:

- $L_O$  = Flujo de  $H_2O$  de entrada a la torre, [ $lb_{mol}/h$ ]
- $H_{LO}$  = Entalpía del flujo de  $H_2O$  de entrada a la torre, [ $BTU/lb_{mol}$ ]
- $G_{Np+1}$  = Flujo de gas de entrada a la torre, [ $lb_{mol}/h$ ]
- $H_{G,Np+1}$  = Entalpía del flujo de gas de entrada a la torre, [ $BTU/lb_{mol}$ ]
- $L_{NP}$  = Flujo líquido a la salida de la torre, [ $lb_{mol}/h$ ]
- $H_{L,Np}$  = Entalpía del Flujo líquido a la salida de la torre, [ $BTU/lb_{mol}$ ]
- $G_l$  = Flujo gaseoso a la salida de la torre, [ $lb_{mol}/h$ ]
- $H_{Gl}$  = Entalpía del Flujo gaseoso a la salida de la torre, [ $BTU/lb_{mol}$ ]
- $Q_T$  = Calor removido de la torre, [ $BTU/h$ ]

Se desarrolla una regresión lineal de los datos de equilibrio entre el  $SO_2$  y  $H_2O$ , presentes en la **Tabla A5.13** del **Anexo V**, luego resolvemos en base a la formulación siguiente:

$$- Y_{n+1} = \frac{y_{n+1}}{1 - y_{n+1}} \quad \text{ecu. 8.132}$$

$$- Y_1 = Y_{n+1} \cdot (1 - R) \quad \text{ecu. 8.133}$$

$$- Y = m \cdot X + c \quad \text{ecu. 8.134}$$

Donde:

- $Y_{n+1}$  = Concentración soluto en fase gaseosa a la entrada.
- $y_{n+1}$  = Concentración soluto en el gas a la entrada.
- $Y_1$  = Concentración soluto en fase gaseosa a la salida.
- $R$  = Rendimiento de absorción.
- $m$  = Pendiente de la regresión lineal.
- $c$  = Constante de intersección regresión lineal.

Para determinar la línea de flujo mínimo y de operación, se aplican las siguientes ecuaciones:

$$- \left(\frac{L}{G}\right)_{\text{mín}} = \frac{Y_{n+1} - Y_1}{X_n - X_0} \quad \text{ecu. 8.135}$$

$$- \left(\frac{L}{G}\right)_{\text{op}} = 1,5 \cdot \left(\frac{L}{G}\right)_{\text{mín}} \quad \text{ecu. 8.136}$$

$$- \left(\frac{L}{G}\right)_{\text{másico}} = \left(\frac{L}{G}\right)_{\text{op}} \cdot \frac{PM_L}{PM_G} \quad \text{ecu. 8.137}$$

Donde:

- $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{mín}}$  = Línea de flujo mínima.
- $\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{op}}$  = Línea de flujo de operación.

- $\left(\frac{L}{G}\right)_{m\acute{a}sico}$  = L\nea de flujo de operaci3n m\acute{a}sico.
- $PM_L$  = Peso molecular del l\quido.
- $PM_G$  = Peso molecular del gas.
- $Y_{n+1}$  = Concentraci3n soluto en fase gaseosa a la entrada.
- $Y_1$  = Concentraci3n soluto en fase gaseosa a la salida.
- $X_n$  = Concentraci3n soluto en fase l\quida a la salida.
- $X_0$  = Concentraci3n soluto en fase l\quida a la entrada.
- $R$  = Rendimiento de absorci3n.
- $m$  = Pendiente de la regresi3n lineal.
- $c$  = Constante de intersecci3n regresi3n lineal.

Se recalcula  $X_n$ , y se determina el n\umero de platos te3ricos y reales, seg\un las siguientes ecuaciones:

$$- X_n = \frac{Y_{n+1} - Y_1}{\left(\frac{L}{G}\right)_{op}} + X_0 \quad \text{ecu. 8.138}$$

$$- A = \frac{\left(\frac{L}{G}\right)_{op}}{m} \quad \text{ecu. 8.139}$$

$$- NPT = \frac{\text{Log}\left[\left(\frac{Y_1 - m \cdot X_2}{Y_2 - m \cdot X_2}\right) \cdot \left(1 - \frac{1}{A}\right) + \frac{1}{A}\right]}{\text{Log}(A)} \quad \text{ecu. 8.140}$$

$$- NPR = \frac{NPT}{n} \quad \text{ecu. 8.141}$$

Donde:

- $\left(\frac{L}{G}\right)_{op}$  = L\nea de flujo de operaci3n.
- $NPT$  = N\umero de pasos te3ricos.
- $NPR$  = N\umero de pasos reales.

- $n$  = Eficiencia de plato.
- $Y_{n+1}$  = Concentración soluto en fase gaseosa a la entrada.
- $Y_1$  = Concentración soluto en fase gaseosa a la salida.
- $X_n$  = Concentración soluto en fase líquida a la salida.
- $X_0$  = Concentración soluto en fase líquida a la entrada.
- $m$  = Pendiente de la regresión lineal.

Se determina la eficiencia de los platos reales en un 50% estándar, como recomendación de diseño, donde se puede ajustar en base a gráfica, según la **ecu. 8.142**, el parámetro siguiente:

$$n \rightarrow \frac{m \cdot PM_L \cdot \mu_L}{\rho_L} \quad \text{ecu. 8.142}$$

Se determina las constantes  $a$  y  $b$  para plato campana, para determinar  $C_F$ , según el espaciamiento entre platos  $T_s = 20,0$  [pulg], y tomando la **ecu. 8.143**, para obtener los datos tabulados.

$$\left(\frac{L}{G}\right)_{\text{másico}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_L}{\rho_G}} \quad \text{ecu. 8.143}$$

$$a = 0,0041 \cdot T_s + 0,0135 \quad \text{ecu. 8.144}$$

$$b = 0,0047 \cdot T_s + 0,0680 \quad \text{ecu. 8.145}$$

$$C_F = \left[ a \cdot \text{Log} \left( \left(\frac{L}{G}\right)_{\text{másico}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_L}{\rho_G}} \right)^{-1} + b \right] \cdot \left(\frac{\sigma}{20}\right)^{0,2} \quad \text{ecu. 8.146}$$

Para determinar  $V_{op}$ , se debe considerar un tipo de sistema espumante el cual entrega una constante de 0,75, como se muestra a continuación:

$$- V_F = C_F \cdot \left( \frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G} \right)^{0,5} \quad [pie/s] \quad \text{ecu. 8.147}$$

$$- V_{op} = 0,75 \cdot V_F \quad [pie/s] \quad \text{ecu. 8.148}$$

Donde:

- $V_F$  = Velocidad de flujo final.
- $V_{op}$  = Velocidad de flujo operacional final.

Se determina la altura de la columna finalmente, a partir de las siguientes ecuaciones:

$$- A_T = \frac{F_G}{V_{op} \cdot \rho_G} \quad [pie^2] \quad \text{ecu. 8.149}$$

$$- D_T = \sqrt{\frac{4 \cdot A_T}{\pi}} \quad [pie] \quad \text{ecu. 8.150}$$

$$- H = NPR \cdot T_S \quad [pulg] \quad \text{ecu. 8.151}$$

Donde:

- $A_T$  = Área de la torre,  $[pie^2]$
- $D_T$  = Diámetro de la torre,  $[pie]$
- $H$  = Altura de la torre,  $[pulg]$



- **Nozzle de Alimentación y Descarga:** Las velocidades recomendadas fluctúan entre 4 - 10 [pies/s] para líquidos, 33 - 49 [pies/s] para vapor saturado y de 80 - 120 [pies/s] para gases, ó 1,2 - 3 [m/s] para líquidos, 10 - 15 [m/s] para vapor saturado y de 25 - 37 [m/s] de para gases. Se diseñan en base a los flujos mayores, de la etapa de activación:

$$- A = \frac{G}{\rho \cdot v} \quad [m^2] \quad \text{ecu. 8.152}$$

$$- D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \quad [m] \quad \text{ecu. 8.153}$$

Donde:

- A = Área del nozzle, [m<sup>2</sup>]
- G = Flujo másico, [Kg/s]
- ρ = Densidad del fluido, [Kg/m<sup>3</sup>]
- v = Velocidad del fluido, [m/s]
- D = Diámetro del nozzle, [m]
- Una vez calculado debe ser estandarizado.

- **Nozzle de Instrumentación:** Se utilizan nozzles roscados de 3/4 [in] de diámetro.
- **Nozzle de Drenaje:** Se utilizan nozzles roscados de 1 1/2 [in] de diámetro.
- **Manhole:** El diámetro del manhole debe ser lo suficientemente grande para que se introduzca un hombre. Los diámetros de manhole estandarizados

son de 20 y 24 [in]. El espesor de la tapa del manhole se calcula con la siguiente expresión:

$$- t_{manhole} = d \cdot \sqrt{\frac{C_c \cdot P}{\sigma_{adm}}} + c \quad [mm] \quad \text{ecu. 8.154}$$

$$- \sigma_{adm} = \frac{\sigma_{ela}}{n} \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.155}$$

Donde:

- $t_{manhole}$  = Espesor de la tapa, [mm]
- $d$  = Diámetro del manhole, [m]
- $C_c$  = Constante
- $E$  = Eficiencia de soldadura, (no hay soldadura)
- $P$  = Presión de diseño, [bar]
- $\sigma_{adm}$  = Esfuerzo admisible del material, [bar]
- $\sigma_{ela}$  = Esfuerzo máximo, límite elástico del material, [bar]
- $n = 3$ , Factor de seguridad del material
- $c$  = Espesor de seguridad por corrosión, 2,0 [mm]

- **Espesor del Manto.**

- **Temperatura de Operación:** Para el diseño del equipo se considera la temperatura más alta alcanzada, pero al ser atmosférico esta no excede los 40° C.
- **Presión de Operación:** La presión de operación, será la ejercida por el líquido (agua industrial) almacenado sobre la carcasa, por lo que el diseño será a presión interna. Según la siguiente ecuación:

$$- P_i = \rho \cdot g \cdot h \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.156}$$

$$- P = P_i - P_{atm} \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.157}$$

Donde:

- $P_i$  = Presión interna total, [bar]
- $P_{atm}$  = Presión atmosférica, [bar]
- $P$  = Presión de diseño, [bar]
- $\rho$  = Densidad material relleno, [kg/m<sup>3</sup>]
- $g$  = Constante aceleración gravedad, [m/s<sup>2</sup>]
- $h$  = Altura de relleno, [m]

- **Diseño Mecánico:** Se diseña el equipo cilíndrico a presión interna.
- **Determinación de Material:** Se considera como material el acero inoxidable tipo AISI 304 y 316, el cual se mencionó anteriormente, como los más recomendados. Sus características se pueden ver en la **Tabla 8.2**.
- **Diseño de Cilindro a Presión Interna:** Para la determinación del espesor de carcasa se utiliza la presión generada por el sólido almacenado, se utiliza la ecuación ASME de diseño a presión interna:

$$- t_{manto} = \frac{P \cdot r_i}{\sigma_{adm} \cdot E^{-0,6} \cdot P} + c \quad [mm] \quad \text{ecu. 8.158}$$

$$- \sigma_{adm} = \frac{\sigma_{ela}}{n} \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.159}$$

$$- \frac{r_i}{t} \geq 5 \quad \text{ecu. 8.160}$$

Donde:

- $t_{manto}$  = Espesor del manto, [mm]
  - $P$  = Presión de diseño, [bar]
  - $\sigma_{adm}$  = Esfuerzo admisible del material, [bar]
  - $\sigma_{ela}$  = Esfuerzo máximo, límite elástico del material, [bar]
  - $E$  = Eficiencia de soldadura 0,9.
  - $r_i$  = Radio interno, [mm]
  - $n = 3$ , Factor de seguridad del material.
  - $c$  = Espesor de seguridad por corrosión, 2,0 [mm]
- **Diseño de Cabezal Esférico:** Utilizando ecuación ASME para cabezales esféricos y material base AISI 316:

$$- t_{cabezal} = \frac{P \cdot r_i}{2 \cdot \sigma_{adm} \cdot E - 0,2 \cdot P} + c \quad [mm] \quad \text{ecu. 8.161}$$

$$- \sigma_{adm} = \frac{\sigma_{ela}}{n} \quad [bar] \quad \text{ecu. 8.162}$$

Donde:

- $t_{cabezal}$  = Espesor del cabezal, [mm]
- $P$  = Presión de diseño, [bar]
- $\sigma_{adm}$  = Esfuerzo admisible del material, [bar]
- $\sigma_{ela}$  = Esfuerzo máximo, límite elástico del material, [bar]
- $r_i$  = Radio interno, [mm]
- $E = 0,9$ , Eficiencia de soldadura.
- $n = 3$ , Factor de seguridad del material.
- $c$  = Espesor de seguridad por corrosión, 2,0 [mm]

- **Torre de Absorción (TR – 1):**

| ITEM     | VALOR  | UNIDADES                     |
|----------|--------|------------------------------|
| $NPR$    | 5,00   | -                            |
| $a$      | 0,096  | -                            |
| $b$      | 0,162  | -                            |
| $V_{op}$ | 11,314 | [ <i>pie/s</i> ]             |
| $F_G$    | 2,47   | [ <i>lb/s</i> ]              |
| Área     | 3,50   | [ <i>pies</i> <sup>2</sup> ] |
| Diámetro | 2,11   | [ <i>pies</i> ]              |
| Altura   | 100    | [ <i>pulg</i> ]              |
| Altura   | 2,54   | [ <i>m</i> ]                 |

Tabla 8.35 – Resultados Cálculos Torre de Absorción.

- **Nozzle de Entrada y Salida**

|                  |                  |
|------------------|------------------|
| Diámetro         | 9,05 [pulg]      |
| Diámetro Nominal | 10" - 40 ST 40 S |
| Diámetro Interno | 10,02 [pulg]     |
| Diámetro Externo | 10,75 [pulg]     |
| Espesor          | 0,365 [pulg]     |

- **Nozzle de Instrumentación**

|                  |                              |
|------------------|------------------------------|
| Diámetro Nominal | $\frac{3}{4}$ " - 40 ST 40 S |
| Diámetro Interno | 1,050 [pulg]                 |
| Diámetro Externo | 0,824 [pulg]                 |
| Espesor          | 0,113 [pulg]                 |

- **Nozzle de Drenaje**

|                  |                   |
|------------------|-------------------|
| Diámetro Nominal | 1 ½" - 40 ST 40 S |
| Diámetro Interno | 1,610 [pulg]      |
| Diámetro Externo | 1,900 [pulg]      |
| Espesor          | 0,145 [pulg]      |

- **Manhole**

|                  |              |
|------------------|--------------|
| Diámetro Nominal | 24" - 20 ST  |
| Diámetro Interno | 23,25 [pulg] |
| Diámetro Externo | 24,00 [pulg] |
| Espesor          | 0,375 [pulg] |

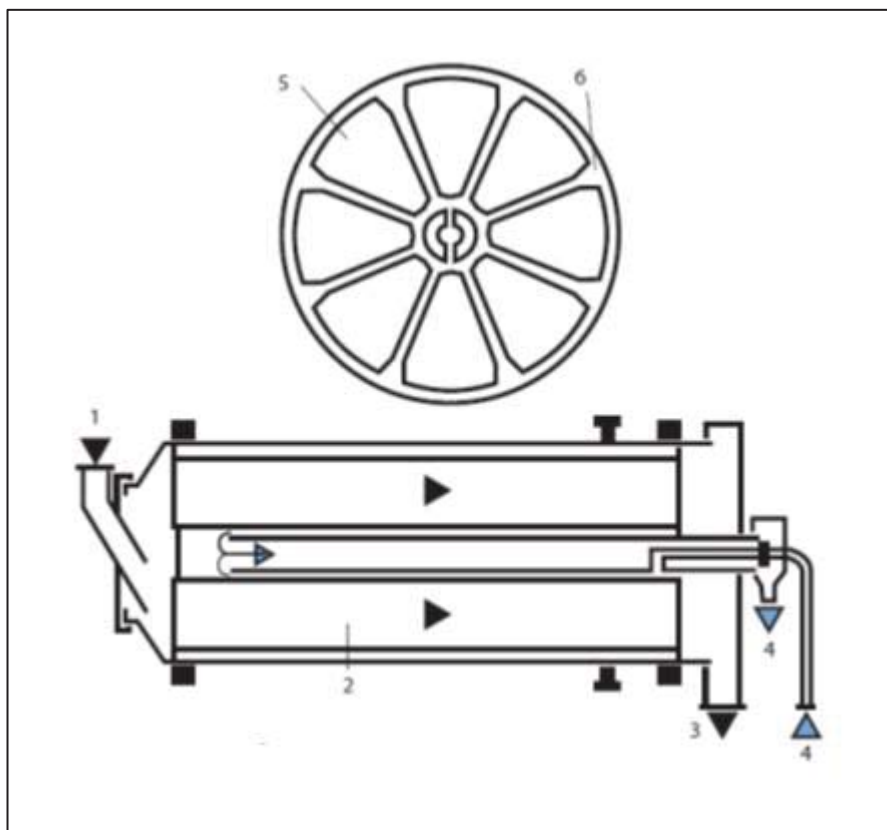
### 8.5.5 Enfriador Productos Horno Rotatorio (ES – 1)

Después del proceso de carbonización y de pirólisis de los dos materiales, cáscaras de nueces y carbón natural de cáscaras de nueces, respectivamente, estos deben pasar por una etapa de enfriamiento, por un enfriador rotatorio que sea capaz de bajar la temperatura máxima de 1.000 °C hasta la temperatura ambiente. El enfriador seccional es un tambor rotativo subdividido en secciones de circulación de producto rodeadas de cámara de agua. Admite altos saltos térmicos, y fluctuaciones en caudal y propiedades de producto. Enfriamiento por agua a presión atmosférica. Construcción compacta, muy robusta y simple. Admite inertización, como muestra la **Figura 8.16**.



**Figura 8.16 – Enfriador Seccional Lado Entrada.**

Los enfriadores seccionales en casi todas las industrias manipulan productos sólidos sueltos y fluidos, de los que previo al transporte o embalaje final se debe reducir su temperatura. El enfriamiento directo mediante aparatos convectivos, p.e. tambores de enfriamiento por aire a contra – corriente, muchas veces no es aplicable. Esto ocurre con productos de granulometría muy fina, o aquellos donde el enfriamiento debe realizarse especialmente intensivo y/o a temperaturas muy bajas. Para estos casos, los enfriadores seccionales alcanzan efectos de enfriamiento desde más de 1.000 °C hasta 50 °C. Otra ventaja consiste en el hecho de que no precisa de equipo captador de polvo. Para aumentar las superficies interiores de refrigeración, la sección de este tambor de enfriamiento indirecto mediante agua, donde está subdividida en cámaras sectoriales. El agua de refrigeración entra y sale a través de un doble tubo central. La salida es por efecto rebose, con lo que el aparato está sometido solo a la presión de la columna de agua. Ver **Figura 8.17**.



**Figura 8.17 – Sección Esquemática del Enfriador Seccional.**



- 1 - Alimentación
- 2 - Enfriador seccional
- 3 - Salida de producto
- 4 - Entrada/salida de agua
- 5 - Cámara sectorial
- 6 - Camisa de enfriamiento

El enfriador seccional se puede accionar por cadena, o mediante corona/piñón. Se le equipa con aros de rodadura intercambiables de fundición. En los equipos más pequeños, el tambor dispone de un eje central, que gira en rodamientos de rodillos auto – alineantes. Mediante la instalación adicional de haces tubulares en su interior, se consigue un aumento de la superficie de refrigeración. De este modo se puede adaptar el equipo posteriormente a las nuevas condiciones de trabajo, tras un aumento de producción. También se construyen variantes con varios anillos de tubos aleteados. De este modo se llegaron a conseguir las máximas superficies específicas ( $m^2/m^3$ ) del enfriador seccional. Del mismo modo que en el caso del enfriador simple, el seccional de haz tubular también trabaja con solo presión atmosférica en el lado de agua.

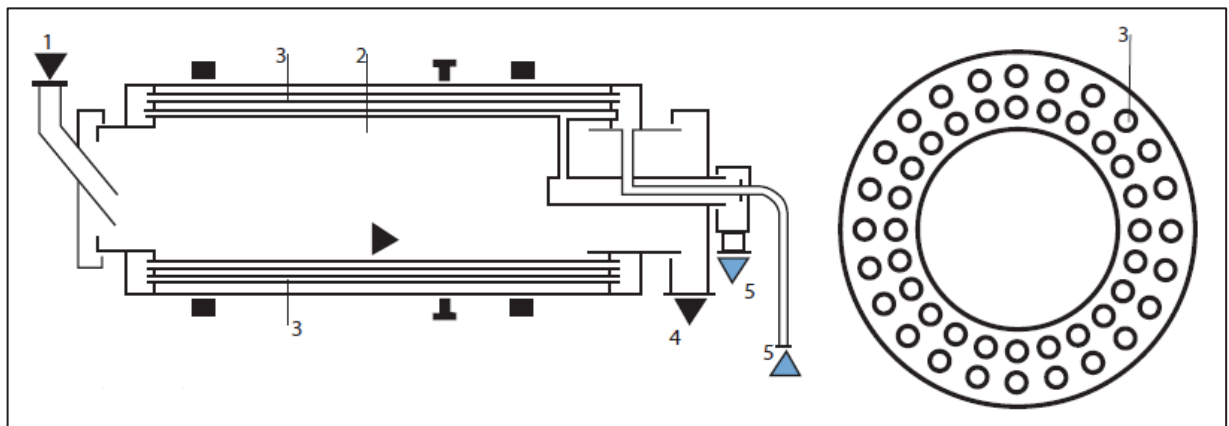


Figura 8.18 – Esquema de un tambor de Enfriamiento de Haz Tubular.

- 1 - Alimentación
- 2 - Enfriador de haz tubular
- 3 - Tubos de enfriamiento
- 4 - Salida de producto
- 5 - Entrada/salida de agua

Para la etapa de pirólisis y activación necesitamos una producción de 1.270 [kg/h] de procesamiento de material, tanto cuando se realiza la pirólisis (Cáscaras de Nueces), como cuando se realiza la activación (Carbón Natural). El enfriador seccional rotativo tendrá que recibir el material a alta temperatura para enfriarlo, en el capítulo anterior se describieron los balances de materia y energía, estos nos entrega los valor de agua a utilizar en las etapas de pirólisis y activación.

- **Dimensionamiento del Enfriador Seccional:** El dimensionamiento del enfriador seccional rotativo, es igual al diseño del horno rotativo, diseñado anteriormente. Se puede ver el detalle del dimensionamiento en las páginas 323 – 327.
  
- **Otro Equipo Para Considerar:** La tecnología Solex Thermal enfriar los sólidos a granel indirectamente utilizando agua, desde temperaturas máximas de 2.000 °C. Con esta tecnología, se bombea agua de refrigeración por el interior de un banco vertical de placas huecas de acero inoxidable mientras el producto sólido pasa entre las placas en una proporción suficiente para lograr en enfriamiento necesario. No se necesita aire en el proceso de enfriamiento y se minimizan los requisitos de energía, como se muestra en la **Figura 8.19**.

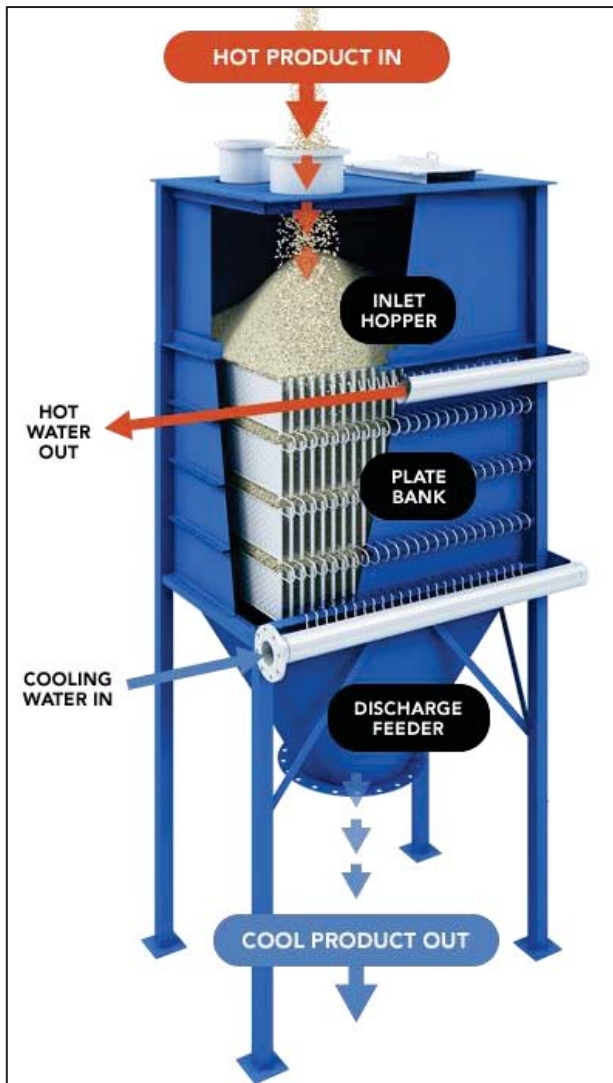


Figura 8.19 – Esquema de Equipo Solex Thermal <http://www.solexthermal.es/>.

## 8.6 Resumen Capítulo VIII

En el presente capítulo se encuentra el diseño mecánico de equipos del proceso, estos se diseñaron en base a los datos entregados en el capítulo anterior de balances de materia y energía entregando el diseño de Flowsheet final. En el presente capítulo se encuentran diseñados y cotizados equipos principales, secundarios y piping, necesarios para el proceso. En el capítulo IX, se encuentra la ubicación geográfica de la planta y distribución de los equipos dentro del espacio industrial requerido por el proceso antes calculado.

## 8.7 Bibliografía

1. Torres T. José. 1998. **Apuntes de Transferencia de Masa. Apuntes de Transferencia de Calor, Apuntes de Transferencia de masa.** Pontificia Universidad Católica de Valparaíso – Escuela de Ingeniería Química. Valparaíso, Chile
2. Fernández, Jaime. 2000. **Apuntes de Diseño Mecánico.** Pontificia Universidad Católica de Valparaíso – Escuela de Ingeniería Química. Valparaíso, Chile.
3. Crittenden, Barry. Thomas, W. John. 1998. **Adsorption Technology & Design.** Ed. Butterworth-Heinemann, 5ª Edition. Inglaterra, Reino Unido.
4. Perry, Robert H. Chilton, Cecil H. 1986. **Perry Biblioteca del Ingeniero Químico.** Ed. McGraw-Hill, 2ª Edición, Volumen 1, 2 y 6. Ed. McGraw-Hill, 2ª Edición, Volumen 1, 2 y 6.
5. Treybal, Robert E. 1988. **Operaciones de Transferencia de Masa.** Ed. McGraw-Hill, 2ª Edición. Ciudad de México, México.
6. Brownell, Lloyd E. Young, Edwin H. 1959. **Process Equipment Design: Vessel Design.** Ed. John Wiley & Sons, 1ª Edición. Nueva York, Estados Unidos.
7. Kern, Donald Q. 1965. **Procesos de Transferencia de Calor.** CECOSA, 1ª Edición. Ciudad de México, México.

8. Perry, Robert H. Green, Don W. Maloney, James O. 1997. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. Ed. McGraw-Hill, 7ª Edition, Nueva York, Estados Unidos.
  
9. Catálogo Comercial y Técnico “Tambores Rotativos” Ingetecsa S.A. Año 2010. [www.ingetecsa.com](http://www.ingetecsa.com). Barcelona, España.
  
10. Tesis Doctoral “**Diseño, Construcción y Operación de una Planta Piloto para la Obtención de Carbones Activados**”. Universidad de Alicante. Año 1995. Departamento de Ingeniería Química, Alicante, España.
  
11. Trabajo para Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Proyectos “**Control Predictivo No Lineal de un Horno Rotatorio para la Producción de Carbón Activo Mediante ANFIS**”. Realizado en Antofagasta, Chile, Año 2010. Por la Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración. Universidad de La Frontera. Temuco, Chile.

## ***CAPÍTULO IX***

### ***- Ubicación y Organización de la Planta -***

## **9.1 Ubicación de la Planta**

Muchos son los factores que intervienen en la determinación del emplazamiento más conveniente de una fábrica. Se debe buscar el mejor emplazamiento para evitar inconvenientes como el excesivo costo de transporte de las materias primas o de los productos finales, el inadecuado suministro de servicios públicos, las deficiencias de la eliminación de desperdicios o de otros servicios. Tomando estas consideraciones es que se opta por situar la planta productiva en la localidad de Buin – RM, como muestra la **Figura 9.1**.

### **9.1.1 Factores Principales**

#### **1. Abastecimiento de Materias Primas:**

Uno de los factores principales a considerar en la decisión de localización es la disponibilidad de materia prima cercana y accesible a la planta. Dado que la cantidad de materia prima es abundante y debe recolectarse durante el periodo de producción de Nueces de Nogal (Marzo a Abril) este factor es uno de los fundamentales a la hora de decidir la localización de la planta. La mayoría de las empresas Nogaleras, que serán las productoras de nuestra materia prima se ubican entre la III y IX regiones. La zona con mayor concentración de hectáreas plantadas esta entre la V y VI regiones, donde la mayor parte (41,8%) de la superficie plantada del país se encuentra en la Región Metropolitana, según el censo agropecuario 2007 efectuado por el INE. De esta forma se puede mencionar que la ubicación de la planta podrá emplazarse en la R.M. donde contara con todas los requerimientos técnicos y logísticos de traslado y acceso de las materias primas hacia las faenas de producción.



## 2. **Cercanía con los Mercados Consumidores:**

En este caso no se cuenta con la información que señale el consumo regional de carbón activado, pero una buena estimación se puede hacer asumiendo que el consumo de este producto se concentra en zonas mineras de oro y plata, en industrias de alimentos y en zonas industriales donde se realicen tratamientos de aguas y residuos. Lo mismo para Latinoamérica donde Perú es el principal productor de oro y además existen otros países con grandes niveles de importaciones de este producto como Brasil, Argentina, México y Venezuela.

Dado que los consumidores se encuentran dispersos por varias regiones, y dado que la cantidad de producto final a transportar es mucho menor a la cantidad de materia prima necesaria para la producción de carbón activado, se le dará mayor importancia a la disponibilidad de materia prima para la decisión de localización de la planta.

## 3. **Abastecimiento de Suministros:**

Como ya se mencionó, las regiones donde se instalará la faena productiva será entre la V, VI y Región Metropolitana. En todas estas regiones hay disponibilidad de suministros de materia prima, energía y agua necesaria para la instalación de una planta. Así como disponibilidad de carreteras y parques industriales en los cuales poder emplazar la fábrica, contando con tiempo de viaje cortos que permitan una eficiencia máxima de los recursos cuando se trasladen.

En estas regiones se encuentran además la mayor concentración de recursos humanos, profesionales ejecutivos, administrativos, técnicos y operadores necesarios en la planta.

#### 4. **Clima**

El clima en Chile presenta mayor estabilidad entre la IV y la VI Región, donde la oscilación térmica es menor, esto sugiere clima adecuado para las tareas de proceso señaladas en el capítulo anterior, considerando que el almacenamiento tanto de la materia prima como de los productos intermedios y finales deben estar en un lugar con poca humedad para evitar su descomposición o baja en su calidad, ya que una excesiva humedad en el ambiente puede provocar en los silos de almacenamiento del Carbón Activo una adsorción por parte de este de agua, lo cual implicaría una disminución en la capacidad adsorbente del carbón y un aumento energético, considerando el secado de este.

No obstante se deben tomar las debidas medidas para aceptar rangos específicos de humedad los cuales no interfieran con la calidad del producto y de las materias primas.

#### 5. **Otros Factores de Importancia**

Ubicando la planta cerca de grandes centros urbanos permite ubicar mano de obra calificada. Por tanto este aspecto privilegia a las regiones V y R.M. Además este mismo criterio beneficia criterios comunales como son la disponibilidad de casas para empleados y obreros, disponibilidad de escuelas y colegios, disponibilidad de hospitales y asistencia médica.

Un factor estratégico es ubicar a la industria en una región cercana a una zona donde exista una alta concentración industrial. Por tanto las regiones V, VI, y Metropolitana son alternativas adecuadas para el proyecto.

La existencia de carreteras, ferrocarriles y la cercanía a puertos son un factor importante. Tal vez la existencia de ferrocarriles y puertos puede marcar una diferencia en este sentido ya que todo el país, hasta la undécima región cuenta con buenas carreteras. El principal ferrocarril se presenta entre la Región Metropolitana y la Décima Región. Respecto a los puertos los principales están ubicados en Iquique, Antofagasta, Caldera, San Antonio, Valparaíso, Talcahuano, Puerto Montt y Punta Arenas.

## 6. **Conclusión**

De acuerdo a lo anteriormente señalado las regiones V, VI y RM cumplen con las condiciones que permitirían instalar la planta, pero considerando como el factor más importante el acceso a la materia prima que representa una cantidad muy superior al producto final que se debe transportar, se optará por instalar la planta en la Región Metropolitana, más específicamente en la zona sur de Santiago, donde se encuentran accesos y servicios industriales instalados, las zonas específicas son San Bernardo, Buin donde se encuentra la exportadora FRUTAS DE EXPORTACIÓN S.A. o Paine donde se encuentra la exportadora ANAKENA LTDA. Estas son unas de las mayores productoras de Nueces Sin Cáscaras en Chile.

En estas comunas la planta estaría ubicada cercana a las principales empresas Nogaleras. Cuenta con los accesos de carreteras para llegada de materias primas y salida de producto final, disponibilidad de un puerto cercano como es el de Valparaíso, disponibilidad de recursos humanos y comodidad urbana para los trabajadores, disponibilidad de servicios para la planta tales como: eléctricos, gas natural y agua industrial, disponibilidad de empresas de ingeniería y servicios afines, para reparar y/o asesorar de manera rápida los inconvenientes producidos en faena.

## 9.1.2 Mapa Referencial Ubicación de Planta en Buin



Figura 9.1 – Mapa Político de la Región Metropolitana, Detalle Ubicación de la Planta en Color Rojo en BUIN – Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional.

## **9.2 Sistema de Trabajo**

### **9.2.1 División del Proceso Productivo**

El proceso productivo estará dividido en secciones de manera de facilitar el control del proceso mediante elaboración de planillas de control; al igual que la distribución de los equipos en planta. Las secciones serán las siguientes:

#### **1. Etapa de Carbonización:**

- Recepción, Chancado y Almacenamiento de la materia prima (Cáscaras de Nueces)
- Traslado a Horno Rotatorio y Pirólisis (Cáscaras de Nueces)
- Enfriamiento y Almacenaje (Carbón Natural Obtenido)
- Lavado de Gases de Pirólisis y Quema de Combustible (Provenientes del Horno Rotatorio)
- Almacenaje en Silo del Carbón Natural.

#### **2. Etapa de Activación:**

- Traslado a Horno Rotatorio y Activación (Carbón Natural)
- Enfriamiento y Almacenaje (Carbón Activado Obtenido)

- Lavado de Gases de Pirólisis y Quema de Combustible (Provenientes del Horno Rotatorio)
- Molienda a Tamaño CAG y/o CAP.
- Envasado y Almacenaje en Bodega para su despacho.

## 9.2.2 Jornada Laboral

Se debe cumplir con la legislación laboral Chilena, la cual regula las distintas situaciones contractuales de las personas, el cual indica 45 horas de trabajo máximas a la semana, con 9 horas diarias máximas para esta industria en particular.

### 1. **Administrativos:** Personal Jornada Laboral 5 x 2: 1 Turno: Diurno.

La jornada de trabajo del personal que cumpla una jornada de lunes a viernes en horario diurno tendrá la siguiente modalidad:

- 8.5 horas administrativas de trabajo turno, más una hora de colación, con horario diurno desde las 08:00 horas a 12:30 horas y 13:30 horas a 17:30 horas de lunes a viernes.

### 2. **Procesos:** Personal Jornada Laboral 6 x 1: 3 Turnos: 24 hrs.

La jornada de trabajo del personal que cumpla una jornada de lunes a sábado en horario diurno y Nocturno tendrá la siguiente modalidad:

- **Turno 1:** 8 horas administrativas de trabajo turno, más una hora de colación, con horario diurno desde las 07:00 horas a 12:00 horas y 13:00 horas a 16:00 horas de lunes a viernes.
- 5.0 horas administrativas de trabajo turno, más una hora de colación, con horario diurno desde las 7:00 horas a 12:00 horas el día sábado.
- **Turno 2:** 8 horas administrativas de trabajo turno, más una hora de colación, con horario diurno desde las 15:00 horas a 20:00 horas y 21:00 horas a 00:00 horas de lunes a viernes.
- 5.0 horas administrativas de trabajo turno, más una hora de colación, con horario diurno desde las 11:00 horas a 16:00 horas el día sábado
- **Turno 3:** 8 horas administrativas de trabajo turno, más una hora de colación, con horario diurno desde las 23:00 horas a 04:00 horas y 05:00 horas a 08:00 horas de lunes a viernes.
- 5.0 horas administrativas de trabajo turno, más una hora de colación, con horario diurno desde las 15:00 horas a 20:00 horas el día sábado

3. **Otros:** Personal Jornada Laboral Portero:

La jornada de trabajo del personal que cumpla una jornada de lunes a domingo (por medio), tendrá la siguiente modalidad:

- 7.0 horas administrativas de trabajo turno, con horario diurno desde las 7:00 a 14:00 horas, 14:00 a 21:00 horas, lunes a viernes.
- 9.0 horas administrativas de trabajo turno, con horario diurno desde las 13:00 a 22:00 horas y 22:00 a 07:00 horas, sábado - domingo.
- 9.0 horas administrativas de trabajo turno, con horario diurno desde las 07:00 a 15:00 horas, 15:00 a 23:00 horas y 23:00 a 7:00 domingo - lunes.

### 9.2.3 Cálculo del Número de Operarios

Para la evaluación del número de operarios se utilizará la siguiente ecuación, la cual permitirá conocer a relación del número de operarios con la capacidad productiva de la planta.

$$HM(1) = 24,2 \cdot Q_p^{0,25} = 56,86$$

ecu. 9.1

Donde:

HM(1) = Número de horas hombre requerida, [horas hombre/día \* etapas].

HM(2) = Número de horas hombre requerida, [horas hombre/Año].

Q<sub>p</sub> = 30,48 Capacidad de producción de la planta, [Ton/día].

Dt = 312 Días de Proceso al año, [días/Año].

$$O = \frac{HM \cdot n}{Ht} = 7,1 \approx 8$$

ecu. 9.2



Donde:

O = Número de operarios en la planta, [hombre/día].

Ht = 8 = Horas diarias por turno, [h].

n = 1 = Número de etapas en el proceso, [etapas].

## 9.2.4 Lay - Out de la Planta

En este punto se determinan las superficies que ocuparán los diferentes edificios y equipos de proceso, con su respectiva distribución en la planta, los valores se entregan con un 20% de sobredimensionamiento.

Esto es un aspecto importante para lograr un correcto funcionamiento del proyecto una vez en marcha, debido a que si se produce una incorrecta ubicación o bien no se dispone de espacio suficiente, se puede impedir la operación bajo los supuestos de diseño.

Las distintas superficies a determinar serán estimadas, tomando en cuenta los siguientes puntos: Un mejor desplazamiento del personal dentro de la planta; La posible ampliación de la planta; La mejor disposición de los espacios para no interrumpir el proceso. Por otra parte las áreas a considerar serán divididas como se señala a continuación:

### 1. Área de Almacenaje.

El área de almacenaje de la planta se presenta en la **Tabla 9.1**, donde el área necesaria para los silos, sala embalaje y bodegas es de 1.600 (m<sup>2</sup>).

- La capacidad de bodega de recepción de materia prima estará relacionada con la cantidad, meses de operación y período de abastecimiento de la materia prima. A continuación se detalla la formulación:

$$Cb_{mp} = \frac{q_{mp}}{n} \cdot (n - m) = 2.473.333 \text{ [Kg/Año]}$$

ecu. 9.3

Donde:

$Cb_{mp}$  = Capacidad de bodega de materias primas, 2.473.333 [Kg/Año].

$q_{mp}$  = Cantidad anual de materias primas, 7.420.000 [Kg/Año].

$n = 9$ , meses de operación.

$m = 6$ , período de abastecimiento de materias primas.

- La capacidad de bodega de producto terminado estará relacionada con la cantidad, meses de operación del producto terminado. Se detalla la formulación:

$$Cb_{pt} = \frac{q_{pt}}{12} \cdot (12 - n) = 1.350.000 \text{ [Kg/Año]}$$

ecu. 9.4

Donde:

$Cb_{pt}$  = Capacidad de bodega de productos terminados, 1.350.000 [Kg/Año].

$q_{pt}$  = Cantidad anual de productos terminados, 1.800.000 [Kg/Año].

$n = 3$ , meses de operación.

| EQUIPO  | ALMACENAMIENTO                     | CANTIDAD | ÁREA (m <sup>2</sup> ) |
|---------|------------------------------------|----------|------------------------|
| SIL - 1 | Silo Almacenamiento Carbón Natural | 1        | 12,5                   |
| SIL - 2 | Silo Almacenamiento Carbón Activo  | 1        | 12,5                   |
| EMP - 1 | Sala Embalaje Producto Terminado   | 1        | 50                     |
| BDA - 1 | Bodega Almacenaje Materia Prima    | 1        | 900                    |
| BDA - 2 | Bodega Almacenaje Producto         | 1        | 625                    |
| PC - 1  | Pozo Colector de Agua Industrial   | 1        | 400                    |
| TOTAL   |                                    |          | 2.000                  |

**Tabla 9.1 – Distribución Áreas Almacenaje.**

## 2. Área Administrativa.

Este sector, esta destinado principalmente a brindar diferentes servicios al personal, donde el área total calculada es de 280.0 m<sup>2</sup>. Este sector de la planta contiene una serie de oficinas dedicadas principalmente a labores de administración, vigilancia, bodeguera y estacionamiento, como muestra la **Tabla 9.2**.

| EQUIPO | ALMACENAMIENTO                         | CANTIDAD | ÁREA (m <sup>2</sup> ) |
|--------|--|----------|------------------------|
| OF - 1 | Oficinas Gerencia                      | 1        | 25                     |
| OF - 2 | Oficinas Producción                    | 1        | 25                     |
| OF - 3 | Oficinas de Adm. Y Finanzas            | 1        | 25                     |
| OF - 4 | Oficinas de Calidad y Desarrollo       | 1        | 25                     |
| D - 1  | Laboratorio de Calidad e Investigación | 1        | 25                     |
| D - 2  | Taller de Mantenición                  | 1        | 25                     |
| D - 3  | Comedor                                | 1        | 25                     |
| D - 4  | Baños y Lockers                        | 1        | 25                     |
| D - 5  | Garita de Vigilancia                   | 1        | 5                      |
| D - 6  | Estacionamientos Vehículos             | 1        | 25                     |
| D - 7  | Estacionamientos Camiones              | 1        | 50                     |
| TOTAL  |  |          | 280                    |

**Tabla 9.2 – Distribución Áreas Administrativa.**

### 3. Área de Procesos.

Este sector de la planta es donde se ubican los distintos equipos de procesos, se debe constar de espacio para la instalación de ellos, la circulación del personal 75,0 (m<sup>2</sup>) y de vehículos 75,0 (m<sup>2</sup>); y un espacio adecuado para las correspondientes reparaciones de los equipos, el área calculada de Procesos es 500,0 (m<sup>2</sup>).

### 4. Áreas Verdes.

Este sector de la planta es donde las personas pueden contar con áreas verdes que les permita disfrutar en horario de almuerzo, con una superficie de 50,0 (m<sup>2</sup>).

## 9.2.5 Superficie Total

El área total necesaria para la instalación de la planta se determinará considerando un 35% de sobredimensionamiento. En la **Tabla 9.3**, se resumen las áreas por sección:

| <b>LAY - OUT PLANTA CARBÓN ACTIVADO</b>   |                | <b>Área (m<sup>2</sup>)</b> |
|---|----------------|-----------------------------|
| 1   | ALMACENAMIENTO | 2.000                       |
| 2   | ADMINISTRACIÓN | 280                         |
| 3   | PROCESOS       | 650                         |
| 4   | ÁREAS VERDES   | 50                          |
| TOTAL                                     |                | 2.980                       |
| (+35%)                                    |                | 4.023                       |
| <b>TOTAL NOMINAL DE TERRENO NECESARIO</b> |                | <b>4.000</b>                |

Tabla 9.3 – Distribución Áreas Total.

### 9.3 Lay - Out de la Planta

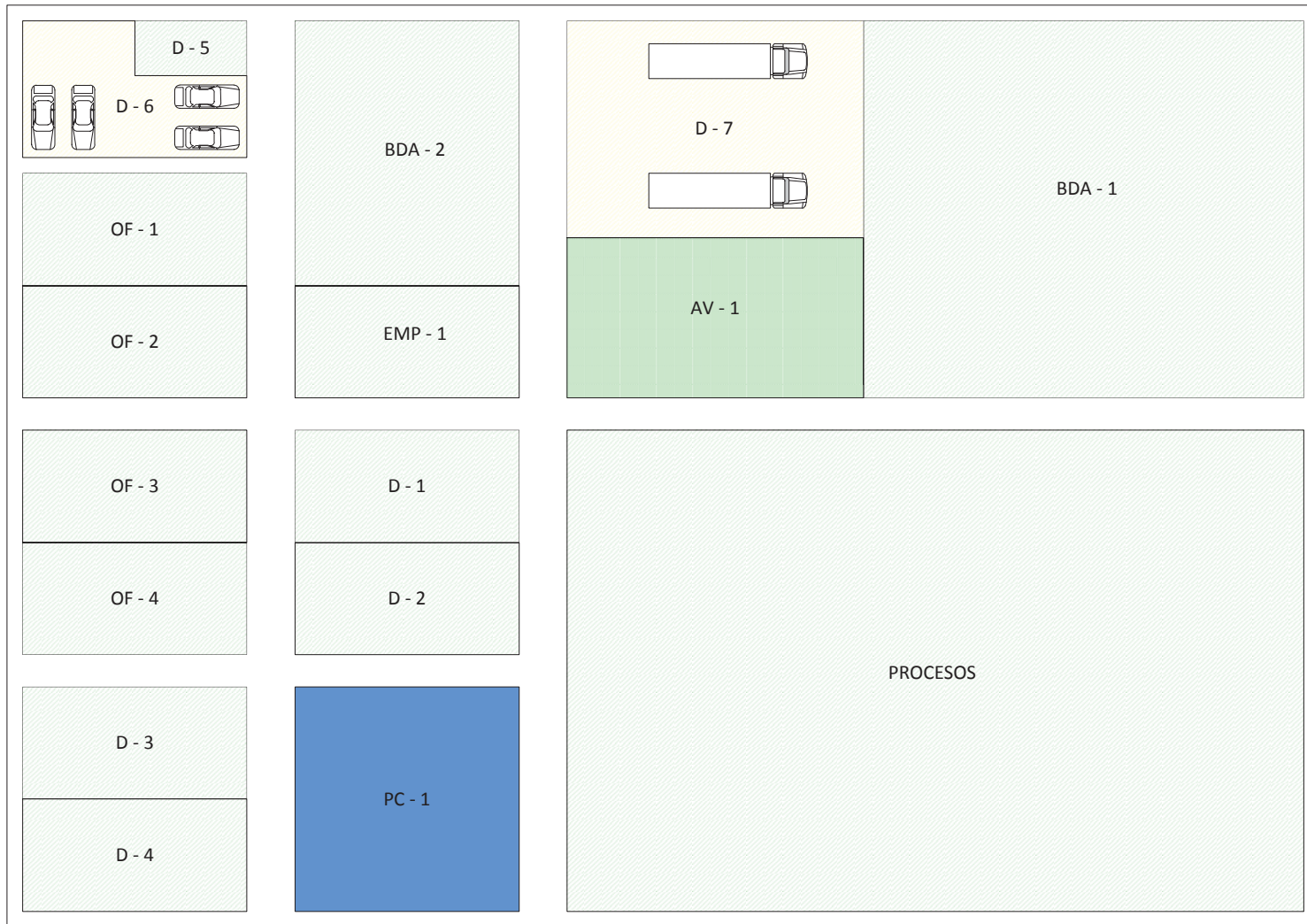


Figura 9.2 – Lay – Out Planta Carbón Activado.

## 9.4 Resumen Capítulo IX

En este capítulo se encuentra una breve explicación acerca de la ubicación y organización de la planta productiva, encontrando para una planta nueva, una ubicación en la zona industrial de la comuna de Buin, la cual es parte de la Región Metropolitana – Chile. Donde en esta zona obtenemos movilidad y conexión tanto en la recepción de materia primas, dado que las empresas que aportarían con la materia prima principal (cáscaras de nueces) se encuentran en la localidad y la conectividad de las carreteras para el reparto vía camiones de nuestro producto. En cuanto al sistema administrativo, se desarrolla en base a la necesidad de una planta pequeña, no automatizada de sólidos, donde se calculan en base a formulación conocida, la cantidad de operarios, supervisores y laboratoristas, dejando tres departamentos con jefaturas principales que engloba la gerencia general, estas son: producción, administración y finanzas, calidad y desarrollo. Terminando luego con el Lay – Out de la planta de procesos. En el capítulo X, se desarrolla la evaluación económica de la planta de producción.

## 9.5 Bibliografía

1. Nassir, Sapag Chain. Reinaldo, Nassir Chain. 1991. Preparación y Evaluación de proyectos. McGraw-Hill, 2ª Edición. Ciudad de México, México.



***CAPÍTULO X***  
***- Evaluación Económica -***

## 10.1 Introducción

Este capítulo tiene como objetivo determinar la factibilidad económica para instalar una planta de Carbón Activado, comparando con los costos de compra del producto envasado existente en el mercado, a través del costo total del producto anual. En esta etapa de evaluación económica se busca determinar la rentabilidad de la inversión en el proyecto, con lo que se requiere de la información necesaria para cuantificar el total de capital de inversión y capital de trabajo.

En el ítem de capital de inversión se trabajará con el método de “*Los Porcentajes*”, el cual considera a la planta de producción de Carbón Activado como anexa a una planta de mayores dimensiones. De forma paralela se realizó una evaluación con el método de “*Lang y Chilton*”, el cual considera a la planta de producción como una planta nueva en un sitio virgen, como se describe en el **Anexo VII**.

El tipo de cambio empleado para el cálculo del flujo de caja es de \$470.- pesos chilenos [CLP] por dólares [USD]. El valor de la UF empleado es de \$22.000.- pesos chilenos [CLP].

## 10.2 Desarrollo

### 1. Índices:

- a. En función del dinero: Valor Anual Neto (V.A.N.).
- b. En función de una tasa de retorno de capital: Tasa Interna de Retorno (T.I.R.).

El V.A.N. considera todos los flujos, su magnitud, el tiempo y el valor del dinero en el tiempo. Matemáticamente el V.A.N. se define como:

$$- VAN = \sum_{t=1}^n \frac{(I_t - E_t)}{(1+i)} - I_0 \quad [US\$] \quad \text{ecu. 10.1}$$

Donde:

- $I_t$  = Ingresos en el período t.
- $E_t$  = Egresos del mismo período.
- $I_0$  = Inversión inicial.
- $I$  = Tasa de interés atractivo de la empresa.

Este criterio plantea que un proyecto se debe aceptar si su valor actual neto es igual o superior a cero, donde el V.A.N. es la diferencia entre todos sus ingresos y egresos expresados en moneda actual. El T.I.R. es la tasa de interés que se obtienen al despejar de la ecuación **ecu. 10.1**, cuando el V.A.N. es cero.

**2. Costo de los Equipos Principales:** Estos costos se obtuvieron en base a cotizaciones actuales en forma CIF, como muestra la **Tabla 4**, del **Anexo VII**.

**3. Inversión Total:** La inversión total inicial es la suma del capital fijo, el capital de trabajo y los gastos de la puesta en marcha. Esta se calculó por dos métodos distintos, el método de “Los Porcentajes” que se muestran en la **Tabla 10.1** y el método de “Lang y Chilton” que se muestra en la **Tabla 11**, del **Anexo VII**, el cual se evaluó de forme independiente como una alternativa al estudio económico

**a. Cálculo Inversión Total Método de los Porcentajes:** Se considera el método para una planta que procesa sólidos. Ver **Tabla 1 – 8**, del **Anexo VII**.

| <b>MÉTODO DE LOS PORCENTAJES</b>     |  |            |                   |
|--------------------------------------|--|------------|-------------------|
| <b>CAPITAL FIJO DIRECTO</b>          |  | <b>(%)</b> | <b>TOTAL US\$</b> |
| 1                                    | Costo CIF de Equipos Principales         | 100        | 602.791           |
| 2                                    | Instalación de Equipos                   | 45         | 271.256           |
| 3                                    | Instrumentación y Control (Instalado)    | 18         | 108.502           |
| 4                                    | Cañerías (Instaladas)                    | 16         | 96.446            |
| 5                                    | Sistema Eléctrico (Instalado)            | 10         | 60.279            |
| 6                                    | Construcciones (Servicios Incluidos)     | 25         | 150.698           |
| 7                                    | Ampliaciones (Talleres, Bodegas, patios) | 15         | 90.419            |
| 8                                    | Servicios (Instalados)                   | 40         | 241.116           |
| <i>TOTAL CAPITAL FIJO DIRECTO</i>    |  |            | 1.621.507         |
| <b>CAPITAL FIJO INDIRECTO</b>        |  | <b>(%)</b> | <b>TOTAL US\$</b> |
| 9                                    | Ingeniería y Supervisión                 | 33         | 198.921           |
| 10                                   | Gastos de Construcción                   | 39         | 235.088           |
| 11                                   | Gastos Legales                           | 4          | 24.112            |
| 12                                   | Horario Contratista                      | 17         | 102.474           |
| 13                                   | Contingencias                            | 35         | 210.977           |
| <i>TOTAL CAPITAL FIJO INDIRECTO</i>  |  |            | 771.572           |
| <i>TOTAL CAPITAL FIJO</i>            |  |            | 2.393.079         |
| <b>CAPITAL DE TRABAJO</b>            |  | <b>(%)</b> | <b>TOTAL US\$</b> |
| 14                                   | (15%) del Capital Total de Inversión     | 70         | 464.539           |
| <i>TOTAL CAPITAL DE TRABAJO</i>      |  |            | 464.539           |
| <b>GASTOS PUESTA EN MARCHA</b>       |  | <b>(%)</b> | <b>TOTAL US\$</b> |
| 15                                   | (10%) del Capital Fijo                   | 10         | 239.308           |
| <i>TOTAL GASTOS PUESTA EN MARCHA</i> |  |            | 239.308           |
| <b>TOTAL CAPITAL DE INVERSIÓN</b>    |  |            | <b>3.096.926</b>  |

**Tabla 10.1 – Inversión Total – Método de los Porcentajes.**

**4. Costo Total del Producto:** El Costo Total del Producto es la suma de todos los costos involucrados desde el punto de partida de la fabricación en la planta hasta su colocación en el mercado, como muestra la **Tabla 10.16**. Este costo se subdivide en dos puntos:

4.1 Costo de Operación o Producción.

4.2 Gastos Generales de la Empresa.

**4.1 Costos de Operación o de Producción:** Comprende todos los gastos relacionados con la operación y producción de la planta. Se subdivide generalmente en tres categorías principales:

- a. Costos Directos de Operación o Costos Variables.
- b. Costos Indirectos o Costos Fijos.
- c. Gastos Generales de la Planta.

**a. Costos Directos de Operación o Costos Variables:** Aquí se incluye todo gasto directamente asociado con la operación de la planta. Comprende principalmente materias primas (incluyendo transporte, descarga, almacenamiento, etc.); sueldos de personal directamente relacionado con la operación de la planta; reparación y mantención de planta; suministros de operación; servicios (agua, vapor, aire, combustibles, electricidad, refrigeración, etc.), patentes y royalties.

- **Materias Primas:** Los costos de las materias primas para la fabricación de carbón activo, son las cáscaras de nueces, considerando el transporte y la descarga como un 50% de los costos de materias primas. Se calcula el incremento en el precio de compra de las cáscaras de nueces en base a los distintos proveedores, como muestra la **Tabla 10.2**.

| Tasa Crecimiento | CNH (Ton/Año) | PC (US\$/Ton) | US\$/Año  | Año |
|------------------|---------------|---------------|-----------|-----|
| 2,70             | 5.838         | 101,28        | 886.940   | 1   |
| 2,70             | 5.996         | 104,01        | 935.482   | 2   |
| 2,70             | 6.158         | 106,82        | 986.679   | 3   |
| 2,70             | 6.324         | 109,70        | 1.040.679 | 4   |
| 2,70             | 6.495         | 112,67        | 1.097.635 | 5   |
| 2,70             | 6.670         | 115,71        | 1.157.707 | 6   |
| 2,70             | 6.850         | 118,83        | 1.221.067 | 7   |
| 2,70             | 7.035         | 122,04        | 1.287.895 | 8   |
| 2,70             | 7.225         | 125,34        | 1.358.380 | 9   |
| 2,70             | 7.420         | 128,72        | 1.432.723 | 10  |

**Tabla 10.2 – Costo Materia Prima (Cáscaras de Nueces).**

\* CAH: Carbón Activo Húmedo Obtenido.

\*\* CNH: Cáscaras de Nueces Húmedas Compradas.

\*\*\* PC: Precio Cáscaras de Nueces.

- **Mano de Obra:** Este punto se refiere al costo unitario de la mano de obra, esto quiere decir, salario promedio por hora (o día) dividido por el volumen de producción. En la **Tabla 10.3**, se detallarán los sueldos por cargo desempeñado en la empresa y la cantidad de personas que se requieren.

| CANTIDAD | CARGO                             | MESES | COSTO UNI. \$ | TOTAL US\$/Año |
|----------|-----------------------------------|-------|---------------|----------------|
| 1        | Gerente                           | 12    | 2.000.000     | 51.064         |
| 1        | Secretaria Gerencia               | 12    | 400.000       | 10.213         |
| 2        | Jefes de Turno Producción         | 12    | 800.000       | 40.851         |
| 8        | Operarios Producción              | 12    | 300.000       | 61.277         |
| 1        | Alumnos en Tesis Producción       | 12    | 120.000       | 3.064          |
| 1        | Operario Operación y Logística    | 12    | 350.000       | 8.936          |
| 1        | Mecánico Industrial Mantenición   | 12    | 350.000       | 8.936          |
| 1        | Eléctrico Industrial Mantenición  | 12    | 350.000       | 8.936          |
| 1        | Jefe de Administración y Finanzas | 12    | 800.000       | 20.426         |

**Tabla 10.3 – Costos de Personal.**

| CANTIDAD | CARGO                              | MESES | COSTO UNI. \$ | TOTAL US\$/Año |
|----------|------------------------------------|-------|---------------|----------------|
| 2        | Vendedores Técnicos en Terreno     | 12    | 350.000       | 17.872         |
| 1        | Encargado de Personal RRHH         | 12    | 800.000       | 20.426         |
| 3        | Chóferes RRHH                      | 12    | 300.000       | 22.979         |
| 2        | Personal de Vigilancia RRHH        | 12    | 250.000       | 12.766         |
| 1        | Ayudantes de Aseo y Ornato RRHH    | 12    | 200.000       | 5.106          |
| 1        | Encargado Contabilidad y Auditoria | 12    | 400.000       | 10.213         |
| 1        | Alumnos en Tesis                   | 12    | 120.000       | 3.064          |
| 1        | Jefe de Control de Calidad         | 12    | 800.000       | 20.426         |
| 1        | Inspectores en Terreno             | 12    | 350.000       | 8.936          |
| 1        | Químico Industrial                 | 12    | 350.000       | 8.936          |
| 1        | Técnico en Medio Ambiente          | 12    | 350.000       | 8.936          |
|          |                                    |       | TOTAL LÍQUIDO | 353.362        |
|          |                                    |       | HABER (20%)   | 70.672         |
|          |                                    |       | TOTAL         | 424.034        |

**Tabla 10.3 (Conti.) – Costos de Personal.**

- **Servicios Generales:** Aquí se incluyen agua de proceso y electricidad para servicios básicos. A continuación se muestra el cálculo de los servicios generales, según el gasto de recursos en los años de duración del proyecto, como se muestra en las **Tablas 10.4 – 10.9**.

| A1 (m3/Año) | APRO (US\$/m3) | US\$/Año | Años |
|-------------|----------------|----------|------|
| 57.014      | 0,50           | 28.507   | 1    |
| 58.553      | 0,51           | 30.067   | 2    |
| 60.134      | 0,53           | 31.713   | 3    |
| 61.758      | 0,54           | 33.448   | 4    |
| 63.425      | 0,56           | 35.279   | 5    |
| 65.138      | 0,57           | 37.210   | 6    |
| 66.897      | 0,59           | 39.246   | 7    |
| 68.703      | 0,60           | 41.394   | 8    |
| 70.558      | 0,62           | 43.660   | 9    |
| 72.463      | 0,64           | 46.049   | 10   |

**Tabla 10.4 – Costo Agua Industrial.**

\* A1 – C: Cantidad de Agua Proceso de Pirolisis.

\*\* A1 – A: Cantidad de Agua Proceso de Activación.

\*\*\* A1: Cantidad de Agua Industrial Ocupada en el período.

\*\*\*\* APRO: Precio de Agua Industrial.

| <b>C1 (m3/Año)</b> | <b>APRO (US\$/m3)</b> | <b>US\$/Año</b> | <b>Año</b> |
|--------------------|-----------------------|-----------------|------------|
| 843                | 500,00                | 421.506         | 1          |
| 866                | 513,50                | 444.575         | 2          |
| 889                | 527,36                | 468.906         | 3          |
| 913                | 541,60                | 494.569         | 4          |
| 938                | 556,23                | 521.636         | 5          |
| 963                | 571,24                | 550.185         | 6          |
| 989                | 586,67                | 580.296         | 7          |
| 1.016              | 602,51                | 612.055         | 8          |
| 1.043              | 618,78                | 645.552         | 9          |
| 1.071              | 635,48                | 680.882         | 10         |

**Tabla 10.5 – Costo Combustible.**

\* C1 – C: Cantidad de Combustible Proceso de Pirolisis.

\*\* C1 – A: Cantidad de Combustible Proceso de Activación.

\*\*\* C1: Cantidad de Combustible Ocupada en el período.

\*\*\*\* APRO: Precio de Combustible.

| <b>E1 (KW/Año)</b> | <b>APRO (US\$/KWH)</b> | <b>US\$/Año</b> | <b>Año</b> |
|--------------------|------------------------|-----------------|------------|
| 1.184.832          | 0,20                   | 236.966         | 1          |
| 1.184.832          | 0,21                   | 243.364         | 2          |
| 1.184.832          | 0,21                   | 249.935         | 3          |
| 1.184.832          | 0,22                   | 256.684         | 4          |
| 1.184.832          | 0,22                   | 263.614         | 5          |
| 1.184.832          | 0,23                   | 270.732         | 6          |
| 1.184.832          | 0,23                   | 278.041         | 7          |
| 1.184.832          | 0,24                   | 285.548         | 8          |
| 1.184.832          | 0,25                   | 293.258         | 9          |
| 1.184.832          | 0,25                   | 301.176         | 10         |

**Tabla 10.6 – Costo Energía Eléctrica.**



\* E1: Cantidad de Energía Eléctrica.

\*\* APRO: Precio de Energía Eléctrica.

| <b>Años</b> | <b>M. Porcentajes USD\$</b> |
|-------------|-----------------------------|
| 1           | 117.728                     |
| 2           | 120.954                     |
| 3           | 124.349                     |
| 4           | 127.922                     |
| 5           | 131.684                     |
| 6           | 135.644                     |
| 7           | 139.812                     |
| 8           | 144.200                     |
| 9           | 148.820                     |
| 10          | 153.684                     |

**Tabla 10.7 – Costo Patentes y Royalties Método de Los Porcentajes.**

| <b>ITEM</b> | <b>COSTOS DIRECTOS DE OPERACIÓN</b>                 | <b>%</b>       | <b>TOTAL US\$</b> |
|-------------|---|----------------|-------------------|
| 1           | Supervisión (15% sueldo Personal)                   | 15             | 63.605            |
| 2           | Mantenimiento y Reparación (20% Capital Fijo)       | 20             | 478.616           |
| 3           | Suministros de Operación (15% Mantenimiento y Rep.) | 15             | 71.792            |
| 4           | Laboratorio (15% Sueldo del Personal Planta)        | 15             | 63.605            |
| 5           | Patentes y Royalties (3% Costo Total Producto)      | Ver Tabla 10.7 |                   |

**Tabla 10.8 – Resto de Costos Directos de Operación Método de Los Porcentajes.**

| <b>Años</b> | <b>M. Porcentajes USD\$</b> |
|-------------|-----------------------------|
| 1           | 2.793.300                   |
| 2           | 2.876.094                   |
| 3           | 2.963.235                   |
| 4           | 3.054.955                   |
| 5           | 3.151.500                   |
| 6           | 3.253.129                   |

**Tabla 10.9 – Total Costo Directos de Operación.**

| Años | M. Porcentajes USD\$ |
|------|----------------------|
| 7    | 3.360.115            |
| 8    | 3.472.745            |
| 9    | 3.591.322            |
| 10   | 3.716.167            |

Tabla 10.9 (conti.) – Total Costo Directos de Operación.

b. **Costos Indirectos de Operación o Costos Fijo:** Estos gastos están siempre presentes aunque la planta no esté funcionando, no dependen de la cantidad producida, como se muestra en la **Tabla 10.10**. Los costos fijos más importantes son:

- **Seguros:** Las diversas instalaciones de una fábrica (equipos, edificios, etc.) deben asegurarse contra posibles riesgos de accidente, incendios, etc. Para los equipos y maquinarias en condiciones normales de operación, estas primas se estiman en un 4% del capital fijo invertido.
- **Contribuciones e Impuestos:** Las municipalidades en donde se instalan, exigen una serie de pagos que hay que efectuar localmente. Uno de estos corresponde a las contribuciones de bienes raíces, los cuales se pagan anualmente basándose en un porcentaje del valor de la propiedad; éste se considerará en un 2%.

|   | COSTOS INDIRECTOS DE OPERACIÓN                 | % | TOTAL US\$     |
|---|--|---|----------------|
| 1   | Seguros (4% Capital Fijo Invertido)            | 4 | 95.723         |
| 2   | Contribuciones e Impuestos (2% Construcciones) | 2 | 12.330         |
| <b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS DE OPERACIÓN</b> |  |   | <b>108.054</b> |

Tabla 10.10 – Costo Indirectos de Operación Método Porcentajes.

- c. **Gastos Generales de la Planta:** Estos gastos, no incluidos en los costos anteriores, tienen una relación directa con la operación de la planta y no deben confundirse con los gastos generales de una empresa. Estos costos se estiman en un 70% de los costos que suman los sueldos del personal de operación, jefes de turno (supervisores) y mantención (técnicos). Se cuenta aquí: Servicios de Ingeniería, Portería y Vigilancia, Servicio de Mantenimiento, Departamento de Personal Planta, Laboratorio de Control, Recepción, Envasado y Despacho, Almacenamiento, Patios, Talleres, Iluminación, Servicios de Comunicación, Transporte, como muestra la **Tabla 10.11**.

|   | <b>GASTOS GENERALES DE LA PLANTA</b>                | <b>%</b> | <b>TOTAL US\$</b> |
|---|---|----------|-------------------|
| 1 | Gastos Generales de la Planta (70% Algunos Sueldos) | 70       | 103.374           |

**Tabla 10.11 – Gastos Generales de la Planta.**

- 4.2 **Gastos Generales de la Empresa:** Son los gastos, fuera de los de operación, necesarios para llevar el producto al mercado, como muestra la **Tabla 10.15**. Se incluyen aquí:

- a. Gastos Generales de Administración.
- b. Gastos de Distribución y Ventas.
- c. Investigación y Desarrollo.

- a. **Gastos Generales de Administración:** Se cuentan los sueldos de la oficina central, departamento legal, departamento de ingeniería central, departamento de personal, contabilidad central, mantención central y servicios de comunicación. Se estimará como el 4% de la suma de la mano de obra directa involucrada en el proceso y los sueldos de los técnicos encargados de la mantención. Además los sueldos administrativos (gerente, jefes de departamentos, secretaria y contador), como muestra la **Tabla 10.12**.

- b. Gastos de Distribución y Ventas:** Se estimó un valor de 20% para este ítem, sobre el costo total del producto, como muestra la **Tabla 10.13**.
- c. Investigación y Desarrollo:** Se estimó en un 3% del costo total del producto, por considerarse un objetivo secundario el realizar investigación y desarrollo, como muestra la **Tabla 10.14**.

|                                       |        |
|---------------------------------------|--------|
| Gastos Generales de la Administración | 16.961 |
|---------------------------------------|--------|

**Tabla 10.12 – Gastos Generales de la Administración.**

| Años | M. Porcentajes USD\$ |
|------|----------------------|
| 1    | 784.854              |
| 2    | 806.359              |
| 3    | 828.993              |
| 4    | 852.817              |
| 5    | 877.893              |
| 6    | 904.290              |
| 7    | 932.079              |
| 8    | 961.333              |
| 9    | 992.133              |
| 10   | 1.024.560            |

**Tabla 10.13 – Gastos de Distribución y Ventas.**

| Años | M. Porcentajes USD\$ |
|------|----------------------|
| 1    | 117.728              |
| 2    | 120.954              |
| 3    | 124.349              |
| 4    | 127.922              |
| 5    | 131.684              |

**Tabla 10.14 – Gastos de Investigación y Desarrollo.**

| <b>Años</b> | <b>M. Porcentajes USD\$</b> |
|-------------|-----------------------------|
| 6           | 135.644                     |
| 7           | 139.812                     |
| 8           | 144.200                     |
| 9           | 148.820                     |
| 10          | 153.684                     |

**Tabla 10.14 (conti.) – Gastos de Investigación y Desarrollo.**

| <b>Años</b> | <b>M. Porcentajes USD\$</b> |
|-------------|-----------------------------|
| 1           | 919.544                     |
| 2           | 944.274                     |
| 3           | 970.303                     |
| 4           | 997.700                     |
| 5           | 1.026.539                   |
| 6           | 1.056.895                   |
| 7           | 1.088.852                   |
| 8           | 1.122.495                   |
| 9           | 1.157.914                   |
| 10          | 1.195.205                   |

**Tabla 10.15 – Total Gastos Generales de la Empresa.**

| <b>Años</b> | <b>M. Porcentajes USD\$</b> | <b>M. Lang y Chilton USD\$</b> |
|-------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 1           | 3.924.271                   | 4.720.886                      |
| 2           | 4.031.796                   | 4.828.411                      |
| 3           | 4.144.966                   | 4.941.581                      |
| 4           | 4.264.083                   | 5.060.698                      |
| 5           | 4.389.466                   | 5.186.081                      |
| 6           | 4.521.452                   | 5.318.067                      |
| 7           | 4.660.394                   | 5.457.009                      |
| 8           | 4.806.667                   | 5.603.282                      |
| 9           | 4.960.664                   | 5.757.279                      |
| 10          | 5.122.800                   | 5.919.415                      |

**Tabla 10.16 – Costo Total del Producto.**

**5. Gastos Financieros:** Existen dos maneras de financiar un proyecto de inversión, una es por medio de inversión de fondos propios de la empresa, usando financiamiento con capital contable o por medio del uso de fondos prestados que se adquieren con una o más entidades financieras (financiación con deuda) para solventar los gastos iniciales, o sea costos de terreno, costos totales de instalación de planta y el capital de trabajo. Una combinación de las dos maneras es el mecanismo más comúnmente utilizado. Cuando el financiamiento es en parte o totalmente financiado con préstamo, los intereses asociados son deducibles de impuesto. La deuda contraída ( $D$ ) se paga en anualidades de valor fijo, en un tiempo determinado de años con un interés bancario determinado. La inversión inicial corresponde al capital o inversión total del proyecto y se considera adquirido a principio del año cero, año en el cual se realiza la adquisición del terreno, preparación y construcción de las instalaciones. Durante el año siguiente, se procede con la puesta en marcha de la planta. El pago anual de la deuda (anualidad) está dado por la siguiente expresión:

$$- R = \frac{D \cdot i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \quad [US\$] \quad \text{ecu. 10.2}$$

Donde:

- $R$  = Anualidad o valor de la cuota anual.
- $D$  = Deuda contraída, [US\$]
- $i$  = Tasa de interés bancario anual, [20%]
- $n$  = Número de períodos del proyecto, [años]

El interés es el pago que debe realizar un agente económico por utilizar fondos prestados, mientras que el interés anual ( $I$ ) es la cuota a pagar por año y corresponde a:

$$- I = D \cdot i \quad [US\$] \quad \text{ecu. 10.3}$$

Donde:

- **I** = Interés anual, [**US\$**]
- **D** = Deuda contraída, [**US\$**]
- **i** = Tasa de interés bancario anual, [**20%**]

A la hora de cancelar un crédito en cuotas, existen dos alternativas en las formas de pago:

1. Con Cuotas Iguales.
2. Con Amortización.

**1. Cuotas Iguales (CI)** : El cálculo de cuotas iguales o payment se realiza de la siguiente forma:

$$- CI = D \cdot \left( \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} \right) \quad [US\$] \quad \text{ecu. 10.4}$$

Donde:

- **CI** = Cuotas iguales, [**US\$**]
- **D** = Deuda contraída, [**US\$**]
- **i** = Tasa de interés bancario anual, [**20%**]
- **n** = Número de períodos del proyecto, [**años**]

**2. Cuotas Amortizadas (CA)** : El cálculo de la amortización es la siguiente:

$$- CA = \left( \frac{D}{n} \right) \quad [US\$] \quad \text{ecu. 10.5}$$

$$- CA = R - I \quad [US\$] \quad \text{ecu. 10.6}$$

Donde:

- **CA** = Cuotas amortizadas, [US\$]
- **D** = Deuda contraída, [US\$]
- **n** = Número de períodos del proyecto, [años]

El costo de operación es la suma de los gastos directos, gastos indirectos y generales de la planta, y los gastos generales de la empresa corresponden a la suma de los gastos generales de administración, gastos de distribución y venta, investigación y desarrollo y gastos financieros. La suma de éstos nos entrega el Costo Total de Planta (Costo Total de Producción).

**6. Flujo de Caja Neto:** En el estudio económico de un proyecto industrial, es de mucha utilidad conocer el flujo de dinero en el sistema operativo de la planta. Esta circulación de dinero es conocida con el nombre de flujo de caja (Cash Flow) e involucra los ingresos y egresos, separando la suma de las utilidades y la depreciación, las que son acumuladas como ítem aparte y que constituyen la base para juzgar la rentabilidad de una industria.

**7. Cálculo de Flujo de Caja Neto:** Los ingresos netos son aquellos percibidos por efectos de las ventas del producto elaborado. La diferencia entre los ingresos netos y los gastos anuales de operación recibe el nombre de Ingreso o Margen Operacional, y está constituida por la suma de las depreciaciones y la utilidad bruta. Por esta razón para obtener la utilidad neta, debe descontarse a la utilidad bruta las depreciaciones y los intereses pagados por la deuda adquirida, para obtener la utilidad afecta a impuestos (equivalentes a un 17%). Al aplicar los correspondientes



impuestos, queda un remanente denominado utilidad neta. Para obtener el flujo de caja anual, a la utilidad neta debe sumarse las depreciaciones y el valor residual de las instalaciones, y restarse la amortización de la deuda. El procedimiento se describe en la **Tabla 10.17**:

| Nº | ITEM   | SIGNO |
|----|--|-------|
| 1  | Ingresos Netos   | (+)   |
| 2  | Costo Total Operación  | (-)   |
| 3  | Utilidad Operacional: (1) + (2)                                    | (=)   |
| 4  | Depreciación   | (-)   |
| 5  | Interés Deuda  | (-)   |
| 6  | Venta Activos  | (+)   |
| 7  | Pérdidas Ejercicio Anterior (PEA)                                  | (-)   |
| 8  | Renta Grabable: (3) + (4) + (5) + (6) + (7)                        | (=)   |
| 9  | Impuestos (17%)  | (-)   |
| 10 | Utilidad Neta: (8) + (9)   | (=)   |
| 11 | Depreciación   | (+)   |
| 12 | Amortización Deuda   | (-)   |
| 13 | Pérdidas Ejercicio Anterior (PEA)                                  | (+)   |
| 14 | Valor de Salvamento  | (+)   |
| 15 | Inversión  | (-)   |
| 16 | Préstamo   | (+)   |
| 17 | Flujo de Caja Neto: (10) + (11) + (12) + (13) + (14) + (15) + (16) | (=)   |

**Tabla 10.17 – Flujo de Caja Neto Total.**

**8. Ingresos por Ventas:** El precio de venta se estudió en el **capítulo V**, donde se pueden ver los diferentes tipos de carbones activos y los precios de venta comerciales de estos. El valor de venta del producto a obtener se verificó en base al promedio de las fuentes presentes en las **Tablas 5.18 y 5.19**, del **capítulo V**. En la siguiente **Tabla 10.18**, se pueden ver los ingresos por ventas.

| INGRESOS POR VENTAS |            |              |            |     |
|---------------------|------------|--------------|------------|-----|
| TASA INCREME        | PRODUCCIÓN | PRECIO VENTA | VENTAS     | Año |
| (%)                 | (Kg/Año)   | (US\$/Kg)    | (US\$/Año) |     |
| 2,7                 | 1.643.459  | 3,40         | 5.587.760  | 1   |
| 2,7                 | 1.687.832  | 3,49         | 5.893.573  | 2   |
| 2,7                 | 1.733.404  | 3,59         | 6.216.122  | 3   |
| 2,7                 | 1.780.206  | 3,68         | 6.556.324  | 4   |
| 2,7                 | 1.828.271  | 3,78         | 6.915.145  | 5   |
| 2,7                 | 1.877.634  | 3,88         | 7.293.604  | 6   |
| 2,7                 | 1.928.331  | 3,99         | 7.692.776  | 7   |
| 2,7                 | 1.980.396  | 4,10         | 8.113.794  | 8   |
| 2,7                 | 2.033.866  | 4,21         | 8.557.854  | 9   |
| 2,7                 | 2.088.781  | 4,32         | 9.026.216  | 10  |

Tabla 10.18 – Ingresos por Ventas.

**9. Evaluación:** Se evaluará el caso de inversión aportador por según el método de los porcentajes y de manera independiente a través del método de Lang y Chilton, el cual se detalla en el **Anexo VII**, siendo los dos en base a cotizaciones de equipos principales actualizadas. La tasa bancaria será de un 20% anual y los pagos del crédito serán en cuotas amortizadas pagaderas en 5 años. La TMAR de 50% anual, el valor residual de un 30% del valor total de los equipos de proceso y la depreciación se entenderá lineal.

**a. Método de los Porcentajes:** Se demuestran en base a VAN y TIR.

- Desarrollo a un 100%, 60% y 40% de capital propio.
- Desarrollo a un -30%, -20%, -10%, +10%, +20% y +30% del precio de venta producto, precio compra de materias primas, valor de equipos, precio servicios.
- Desarrollo gráficos flujo caja, retorno inversión, otros.

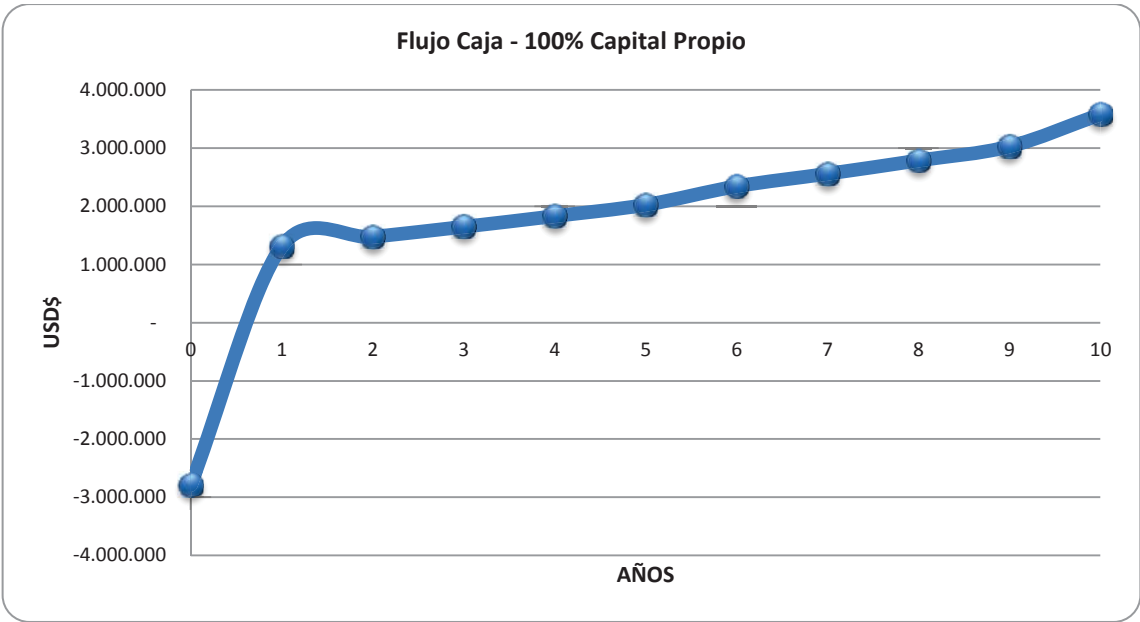


Figura 10.1 – Flujo de Caja Neto v/s Años.

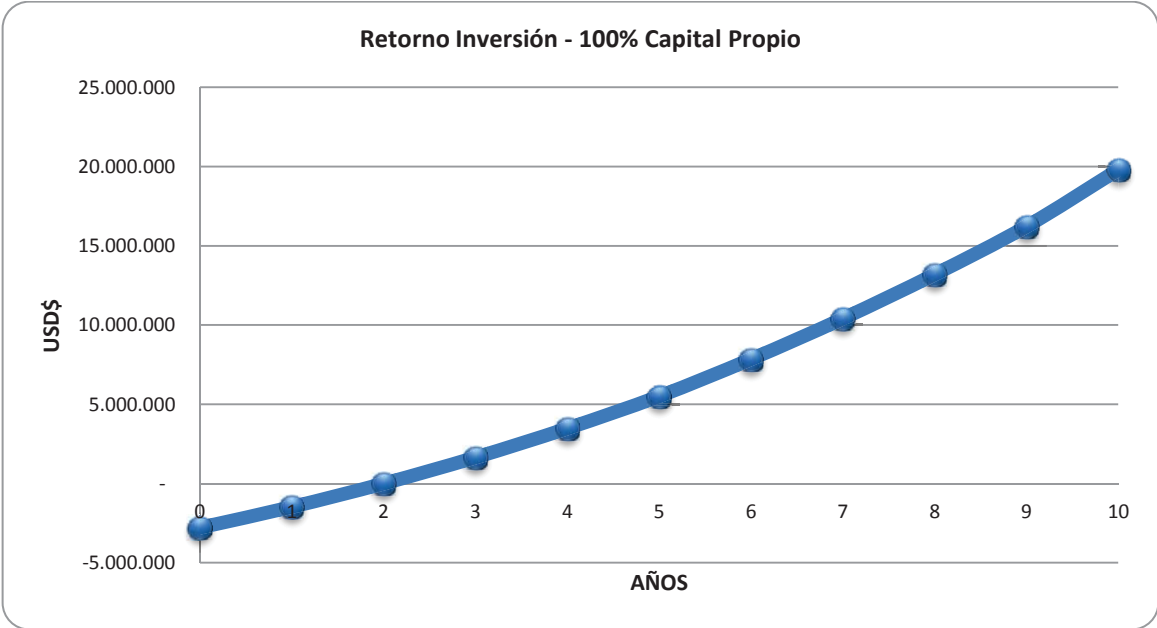


Figura 10.2 – Retorno Inversión v/s Años.

Flujo de Caja con 100% de Capital Propio. (Figura 10.3)

| Años                  | 0 | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         | 7         | 8         | 9         | 10        |
|-----------------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Ingresos Netos        | - | 5,587,760 | 5,893,573 | 6,216,122 | 6,556,324 | 6,915,145 | 7,293,604 | 7,692,776 | 8,113,794 | 8,557,854 | 9,026,216 |
| Costo Total Operación | - | 3,924,271 | 4,031,796 | 4,144,966 | 4,264,083 | 4,389,466 | 4,521,452 | 4,660,394 | 4,806,687 | 4,960,664 | 5,122,800 |
| Utilidad Operacional  | - | 1,663,489 | 1,861,777 | 2,071,156 | 2,292,241 | 2,525,679 | 2,772,152 | 3,032,382 | 3,307,127 | 3,597,190 | 3,903,417 |
| Depreciación          | - | 250,385   | 250,385   | 250,385   | 250,385   | 250,385   | 250,385   | 250,385   | 250,385   | 250,385   | 250,385   |
| Interés Deuda         | - | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         |
| Venta Activo          | - | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         |
| PEA                   | - | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         |
| Renta Grabable        | - | 1,413,104 | 1,611,392 | 1,820,772 | 2,041,857 | 2,275,295 | 2,521,768 | 2,781,997 | 3,056,742 | 3,346,805 | 3,653,032 |
| Impuestos (17%)       | - | 240,228   | 273,937   | 309,531   | 347,116   | 386,900   | 428,701   | 472,939   | 519,646   | 568,957   | 621,015   |
| Utilidad Neta         | - | 1,172,876 | 1,337,455 | 1,511,240 | 1,694,741 | 1,888,494 | 2,093,067 | 2,309,057 | 2,537,096 | 2,777,848 | 3,032,017 |
| Depreciación          | - | 250,385   | 250,385   | 250,385   | 250,385   | 250,385   | 250,385   | 250,385   | 250,385   | 250,385   | 250,385   |
| Amortización          | - | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         |
| PEA                   | - | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         |
| Valor de Salvamento   | - | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | 296,540   |
| Inversión             | - | 3,086,926 | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         |
| Prestamo              | - | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         |
| FCN                   | - | 1,423,261 | 1,587,840 | 1,761,825 | 1,945,126 | 2,138,879 | 2,343,452 | 2,559,442 | 2,787,481 | 3,028,233 | 3,578,941 |
| VAN                   | - | 4,434,301 | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         |
| TIR                   | - | 55%       | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         |

El retorno de la inversión se consigue después del 2º año de producción, cuando la inversión es 100% capital propio. Los índices de VAN y TIR, son los siguientes

|             |           |
|-------------|-----------|
| VAN (USD\$) | 4.434.301 |
| TIR (%)     | 55%       |

Tabla 10.19 – VAN – TIR.

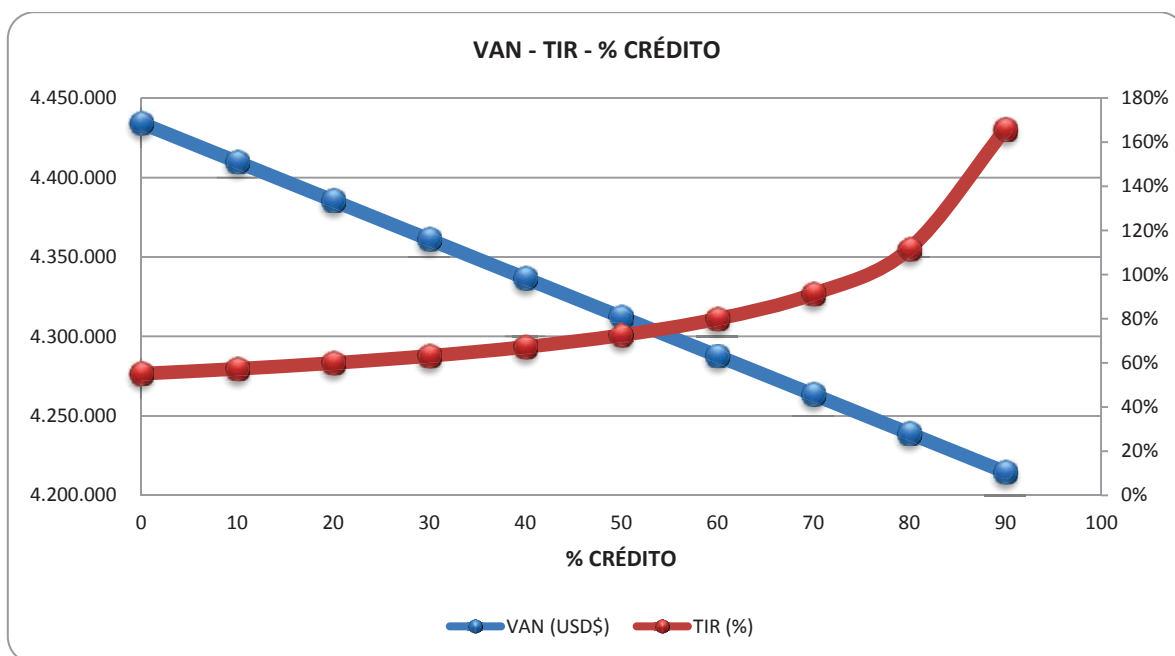


Figura 10.4 – VAN – TIR – %Financiamiento.

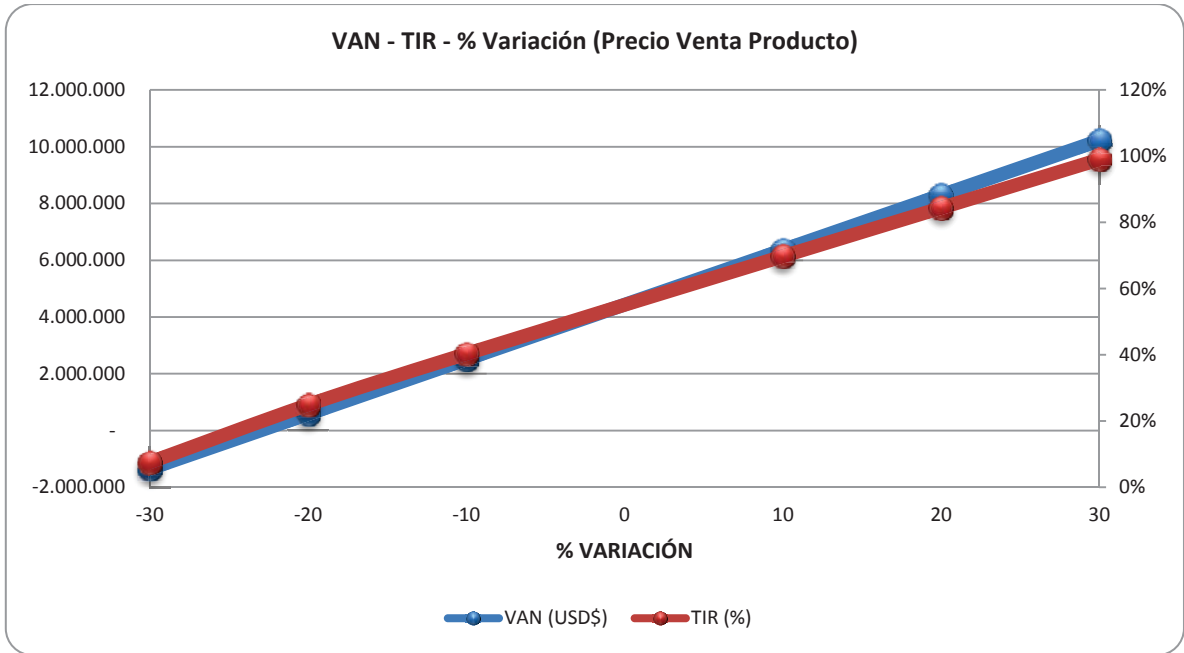


Figura 10.5 – VAN – TIR – % Variación (Precio Venta Producto)

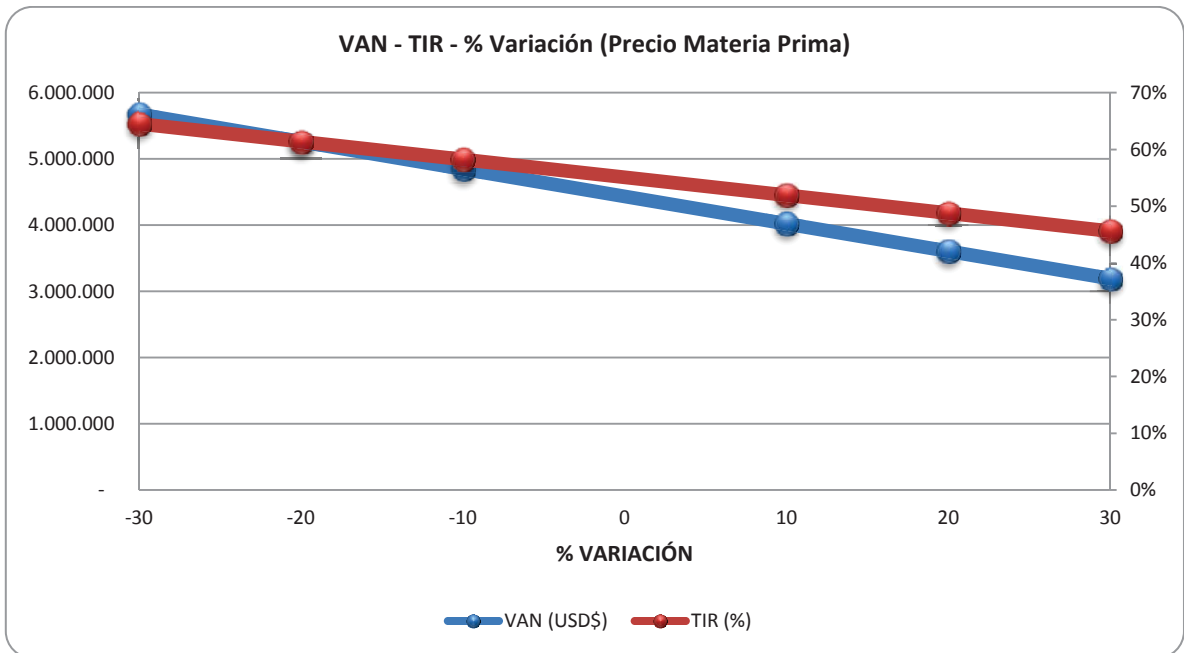


Figura 10.6 – VAN – TIR – % Variación (Precio Materia Prima)

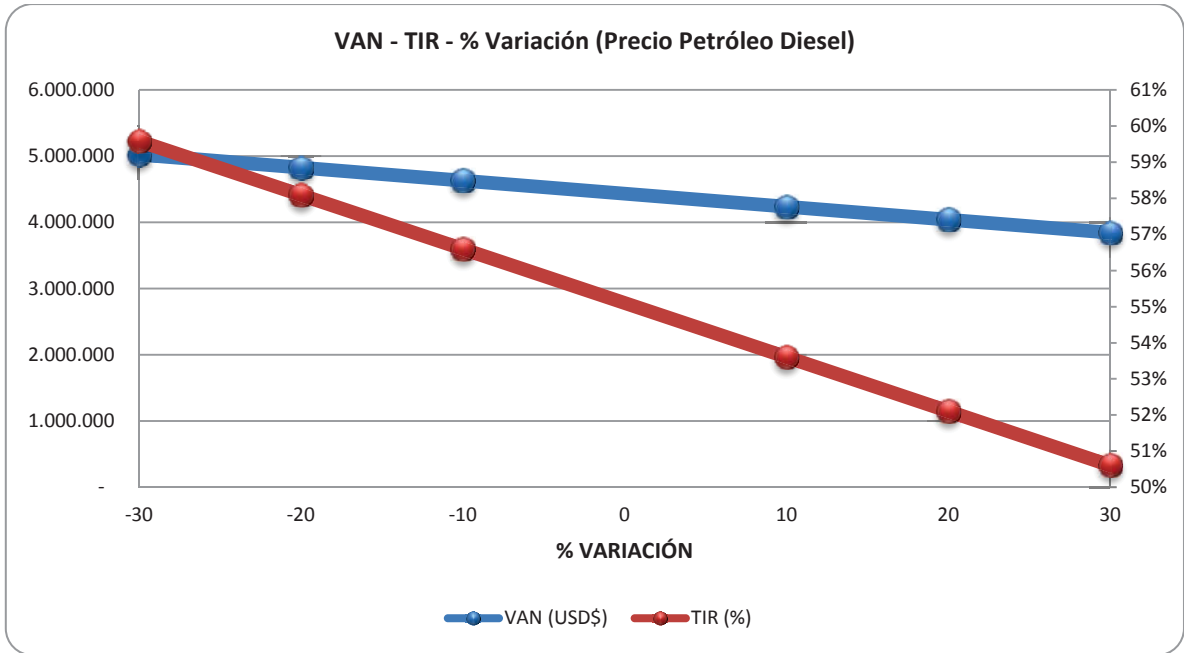


Figura 10.7 – VAN – TIR – % Variación (Precio Petróleo Diesel)

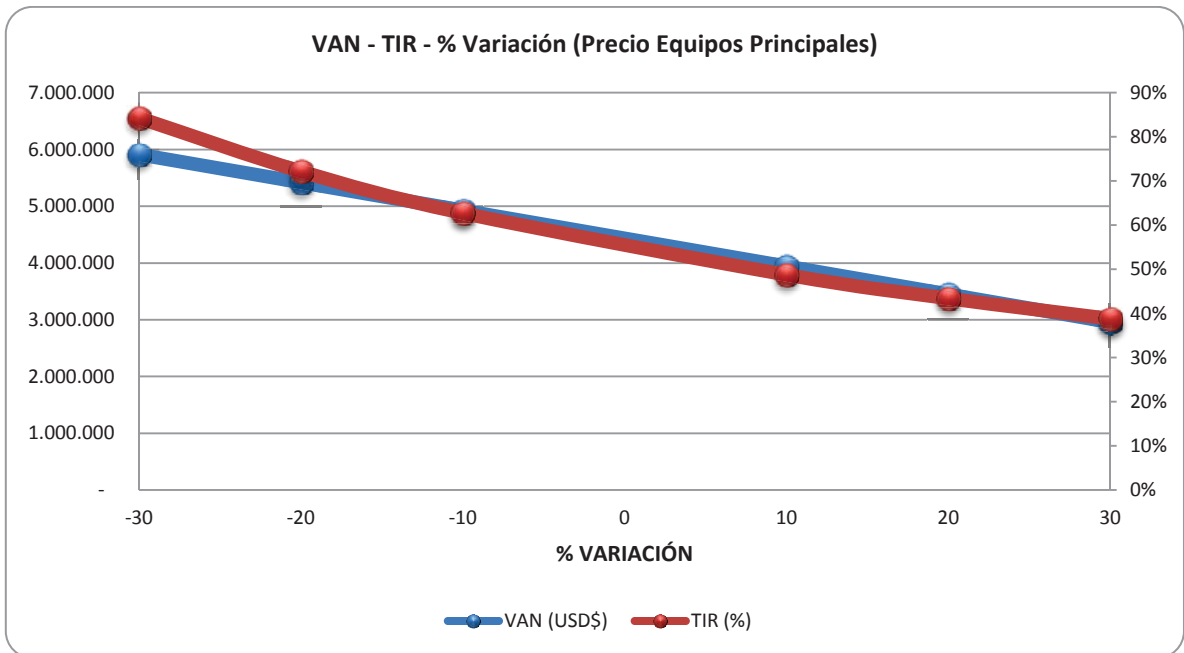


Figura 10.8 – VAN – TIR – % Variación (Precio Equipos Principales)

## 10.3 Resumen Capítulo X

En el presente capítulo desarrolla la evaluación económica, se trabajó en base a dos tipos de metodologías, la primera (método de los porcentajes) implicaba la instalación de una planta productiva anexa a una mayor y la segunda (método Lang – Chilton), la instalación de una planta productiva nueva. Entregando resultados comparativamente distintos, debido a que la instalación de una planta nueva requiere la compra del terreno, preparación de este y su urbanización, donde la inversión inicial total entre el primer método y el otro difiere en casi un 80%. Para el primer método, tenemos un valor actual neto (VAN), sobre los USD 4.000.000, y para la segunda metodología tenemos una (VAN) sobre los USD 270.000, ambas financiadas con un 100% de capital propio. En relación a la tasa interna de retorno (TIR), obtenemos para el primer método una TIR de 55% y para el segundo método de un 21%, esto para una planta financiada con 100% de capital propio.



## 10.4 Bibliografía

1. Peters, Max S. Timmerhaus, Klaus D. West, Ronald E. 2003. **Plant Design and Economics for Chemical Engineers**. Ed. McGraw-Hill, 5ª Edition. Massachusetts, Estados Unidos.
2. Ulrich, Gael D. 1986. **Diseño y Economía de los Procesos de Ingeniería Química**. Ed. Interamericana, 1ª Edición. Ciudad de México, México.
3. Blank, Leland T. Tarquin, Anthony J. 1999. **Ingeniería Económica**. Ed. McGraw-Hill, 4ª Edición. Bogotá, Colombia.
4. Vega, Luis. 2001. **Apuntes de Ingeniería Económica**. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso – Escuela de Ingeniería Química. Valparaíso, Chile.

# ***CAPÍTULO XI***

## ***- Conclusiones -***

## 11.1 Conclusiones

### 11.1.1 Estudio Experimental

1. Se logro acreditar a través de pruebas físicas que la relación del fruto entero de cáscaras de nueces v/s su cáscara y filamentos internos, es cercana a 1:1, lo cual genera un enorme potencial de materia prima disponible, actualmente ocupada como desecho de muy bajo valor de venta, bajo los 130,0 (USD/ton).

2. Se logro acreditar a través de pruebas físicas que la eficiencia de la carbonización de las cáscaras de nueces húmedas esta por sobre el 35,0%, y la eficiencia de activación vía física se encuentra por sobre el 90,0%, ambos resultados para los tipos CAP (carbón activo en polvo) y CAG (carbón activo granular).

3. Es importante destacar que la cáscara de nuez logra buenas propiedades adsorbentes, sometida sólo a un proceso de carbonización, en cuanto a la activación, esta reporta beneficios a la capacidad adsorbente del Carbón. Se podrá potenciar este estudio viendo posibles aplicaciones del carbón natural de Cáscaras de Nueces, se podrá probar por ejemplo en la adsorción de metales desde soluciones provenientes de la minería. En forma particular se demostró que la adsorción de una solución tipo de aurocianuro con 2 ppm, sobre carbón activo de cáscaras de nueces tipo CAP (carbón activo en polvo) y CAG (carbón activo granular), esta por sobre el 92,0% y 90,0% de adsorción correspondientemente, logrando competir de manera directa con los carbones activos convencionales comerciales (CAC) ocupados en estas tareas.

4. Comparativamente podemos ver que los índices obtenidos tanto de Número de Yodo y Azul de Metileno, varían con respecto a la temperatura del proceso de activación, en el caso de la activación física como química, el aumento de

la temperatura de activación (de un promedio de 325 a 400 °C) produjo menores índices, aunque se debe señalar que esta tendencia no debe ser tomada de manera absoluta, ya que para poder desarrollar un diseño apropiado de la conducta del carbón a diferentes temperaturas, el rango de estas debe variar en más puntos de temperatura, llegando a temperaturas de activación física por ejemplo de hasta 1.000 °C.

### **11.1.2 Análisis Económico**

1. Desde un punto de vista económico, se trabajó en base a dos tipos de metodologías, la primera (método de los porcentajes) implicaba la instalación de una planta productiva anexa a una mayor y la segunda (método Lang – Chilton), la instalación de una planta productiva nueva. Entregando resultados comparativamente distintos, debido a que la instalación de una planta nueva requiere la compra del terreno, preparación de este y su urbanización, donde la inversión inicial total entre el primer método y el otro difiere en casi un 80%. Para el primer método, tenemos un valor actual neto (VAN), sobre los USD 4.000.000, y para la segunda metodología tenemos una (VAN) sobre los USD 270.000, ambas financiadas con un 100% de capital propio.

2. En relación a la tasa interna de retorno (TIR), obtenemos para el primer método una TIR de 55% y para el segundo método de un 21%, esto para una planta financiada con 100% de capital propio.

3. En el primer método obtenemos una recuperación de la inversión después del 2º año de operación y para el segundo método, la recuperación de la inversión se obtiene a partir del 5º año aproximadamente.

4. Uno de los puntos de bastante sensibilidad es el costo de la materia prima, el cual no debiera tender a alzas importante, ya que en Chile se proyecta una

aumento de las exportaciones de frutos secos sin cáscara, lo cual produciría una mayor oferta de cáscaras de este fruto o similares que pueden ser adquiridos a bajo precio, como material de desecho.

5. El precio de venta es otro aspecto de sensibilidad importante en el proyecto debido esencialmente a la gran variedad de productos especializados en el mercado que compiten de manera directa con el producto de carbón activo de cáscaras de nueces, pero a su vez, le entrega la posibilidad de agregar un valor significativo, encontrando nuevos formatos y mercados, debido a su bajo contenido de impurezas y su alto estándar absorbente, producido en una línea de procesos de bajo costo.

6. Se recomienda que la planta pueda anexarse a una planta mayor, que quiera obtener un producto a partir de sus residuos sólidos (cáscaras de nueces) o bien una planta que requiera grandes volúmenes de carbón activo de alta pureza y absorción, como en la minería del oro. Así los costos asociados a la compra del terreno, urbanización, preparación, ingeniería, etc. estarían ya considerados y se evitaría costear o buscar financiamiento a un importante capital inicial.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

## **ANEXOS**

PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL  
QUÍMICO

**PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO  
DE CÁSCARAS DE NUECES, PARA APLICACIONES  
EN HIDROMETALURGIA DEL ORO**

**Alumno Memorista:**

**Marcelo Andrés León Martínez**

Profesores Guías:

Carlos Carlesi Jara

María Victoria García de Pablo

## **INDICE GENERAL**

|   |            |
|---|------------|
| <b>ANEXO I - Patentes .....</b>                               | <b>1</b>   |
| <b>ANEXO II - Validación Experimental .....</b>               | <b>44</b>  |
| <b>ANEXO III - Estudio Legal.....</b>                         | <b>82</b>  |
| <b>ANEXO IV - Balances de Energía.....</b>                    | <b>95</b>  |
| <b>ANEXO V - Diseño Mecánico.....</b>                         | <b>100</b> |
| <b>ANEXO VI - Ubicación y Organización de la Planta .....</b> | <b>124</b> |
| <b>ANEXO VII - Evaluación Económica.....</b>                  | <b>136</b> |
| <b>ANEXO VIII - Hoja de Seguridad Carbón Activado .....</b>   | <b>159</b> |

# ***ANEXO I***

## ***- Patentes de Proceso Consultadas -***



## **A1.1      Introducción**

Las siguientes patentes fueron seleccionadas para poder contar con bibliografía especializada acerca de los actuales procesos de obtención de Carbón Activado Físicamente. Si bien cada proceso descrito en las patentes que a continuación se muestran, no fueron usadas de manera íntegra, estas dieron las bases conceptuales para generar una propuesta de proceso propia detallada en el **Capítulo VI**.

Esta base conceptual desarrollada en las patentes que a continuación se muestran abarcan los procesos esenciales para la obtención del Carbón Activado, estas se pueden consultar directamente en la Organización Mundial de Propiedad Intelectual (OMPI).

## A1.2 Patente N° 1: Process For Making Activated Carbon From Agglomerative Coal

Extracto de los Antecedentes de la Patente:

|   |   |                       |
|---|---|-----------------------|
| <b>United States Patent</b> [19]  |   | [11] <b>3,951,856</b> |
| Repik et al.  |   | [45] *Apr. 20, 1976   |
| [54] <b>PROCESS FOR MAKING ACTIVATED CARBON FROM AGGLOMERATIVE COAL</b>   | [56] <b>References Cited</b>  |                       |
| [75] Inventors: <b>Albert J. Repik</b> , Charleston; <b>Charles E. Miller</b> , Mount Pleasant; <b>Homer R. Johnson</b> , Charleston, all of S.C. | <b>UNITED STATES PATENTS</b>  |                       |
| [73] Assignee: <b>Westvaco Corporation</b> , New York, N.Y.   | 3,843,559 10/1974 Repick et al..... 252/421   |                       |
| [ * ] Notice: The portion of the term of this patent subsequent to Oct. 22, 1991, has been disclaimed.  | <i>Primary Examiner</i> —Winston A. Douglas<br><i>Assistant Examiner</i> —P. E. Konopka<br><i>Attorney, Agent, or Firm</i> —Richard L. Schmalz; Ernest B. Lipscomb, III   |                       |
| [22] Filed: <b>Sept. 4, 1974</b>  | [57] <b>ABSTRACT</b>  |                       |
| [21] Appl. No.: <b>503,483</b>  | Fluidized bed technique for oxidizing normally agglomerative bituminous coal is disclosed. One high rank bituminous coal is prepared for activation by grinding, briquetting and crushing to the ¾ inch to 4 mesh size. Thereafter, the coal particles are fluidized in an oxygen containing atmosphere at from about 400°F. to 700°F. Water is preferably added during oxidation, controlling the oxidation temperature. In this manner, coal particles are rendered non-agglomerative which, when thereafter subjected to carbonization and activation, yields superior activated carbon. |                       |
| <b>Related U.S. Application Data</b>  |   |                       |
| [63] Continuation-in-part of Ser. No. 294,468, Oct. 2, 1972, Pat. No. 3,843,559.  |   |                       |
| [52] U.S. Cl..... <b>252/421</b> ; 48/210; 201/8; 201/9; 201/31; 201/38; 201/44; 252/445; 423/449   |   |                       |
| [51] Int. Cl. <sup>2</sup> ..... <b>B01J 31/10</b> ; B01J 21/18   |   |                       |
| [58] Field of Search ..... 252/421, 445; 201/9, 201/31; 208/48 Q, 127   |   |                       |
|   | <b>6 Claims, 2 Drawing Figures</b>  |                       |

Figura A1.2 – Antecedentes de la Patente N° 1: Process For Making Activated Carbon From Agglomerative Coal – Fuente: <http://www.patents.com/Process-making-activated-carbon-agglomerative-coal/US3951856/en-US/>

☑ Esquema General del Proceso:

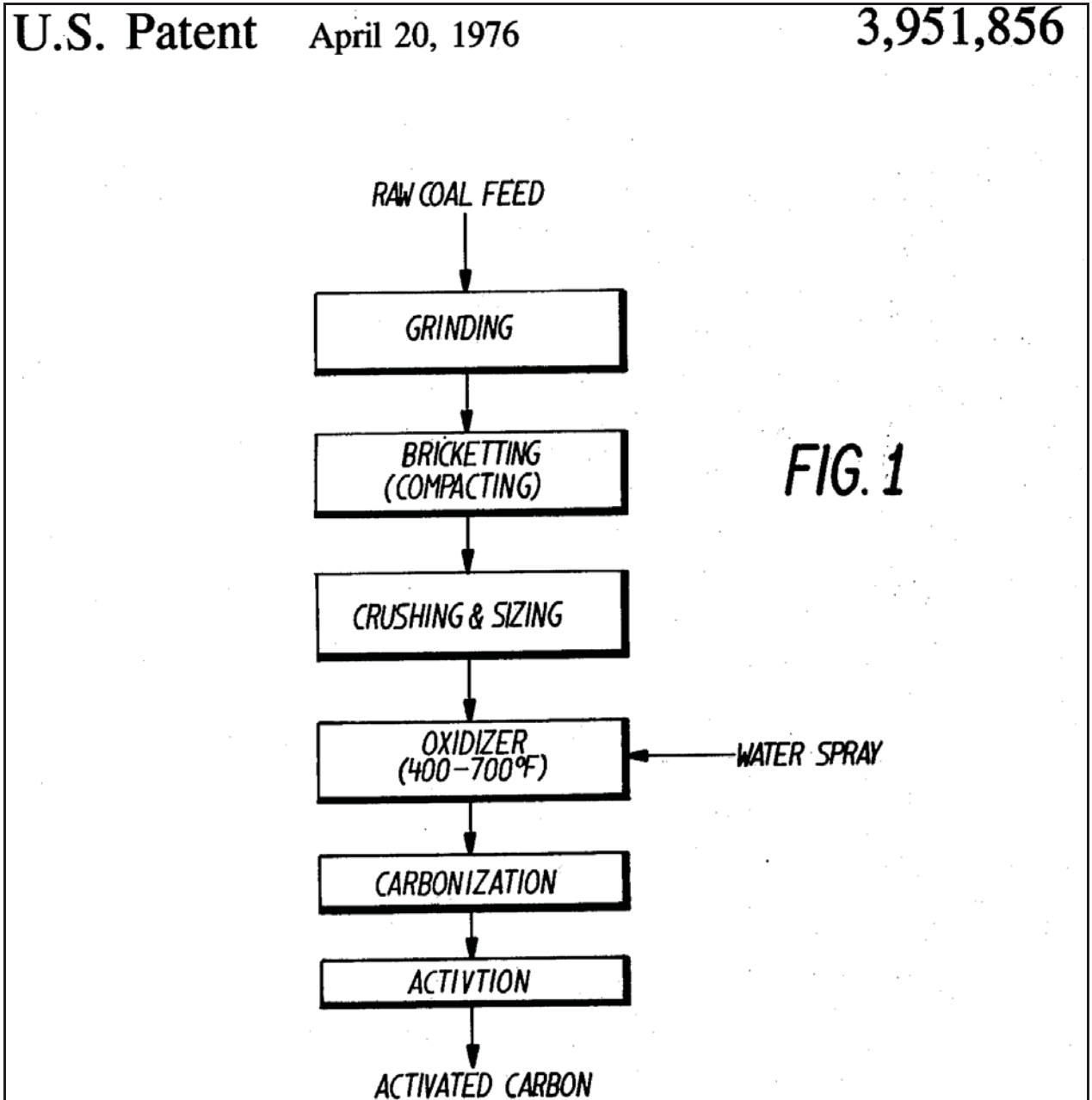


Figura A1.3 – Esquema General del Proceso Patentado – Fuente: <http://www.patents.com/Process-making-activated-carbon-agglomerative-coal/US3951856/en-US/>

☑ Esquema General del Horno de Activación:

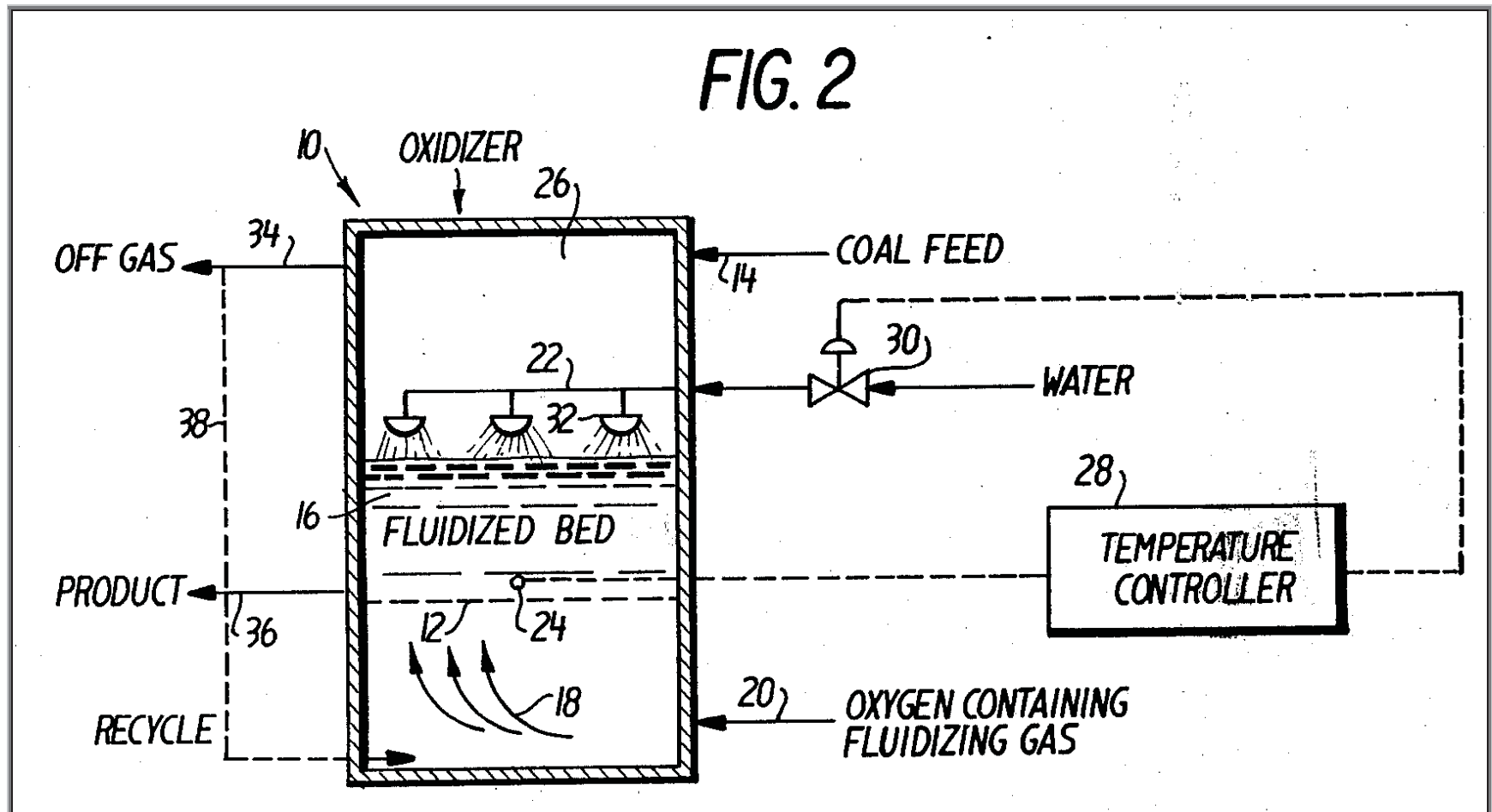


Figura A1.4 – Esquema General del Horno de Activación – Fuente: <http://www.patents.com/Process-making-activated-carbon-agglomerative-coal/US3951856/en-US/>

### A1.3.1 Texto Completo de la Patente

1. **Title:** Process for making activated carbon from agglomerative coal.
2. **Patent ID:** US3951856.
3. **Issue Date:** April 20, 1976.
4. **Abstract:** Fluidized bed technique for oxidizing normally agglomerative bituminous coal is disclosed. One high rank bituminous coal is prepared for activation by grinding, briquetting and crushing to the 3/4 inch to 4 mesh size. Thereafter, the coal particles are fluidized in an oxygen containing atmosphere at from about 400.degree.F. to 700.degree.F. Water is preferably added during oxidation, controlling the oxidation temperature. In this manner, coal particles are rendered non-agglomerative which, when thereafter subjected to carbonization and activation, yields superior activated carbon.

#### 1. **Inventors:**

- Repik, Albert J. (Charleston, SC)
- Miller, Charles E. (Mount Pleasant, SC)
- Johnson, Homer R. (Charleston, SC)

1. **Application Number:** 05/503483.
2. **Publication Date:** 04/20/1976.
3. **Filing Date:** 09/04/1974.

4. **Primary Examiner:** Douglas, Winston A.
5. **Assistant Examiner:** Konopka P. E.
6. **Attorney, Agent or Firm:** Schmalz, Richard L. Lipscomb III, Ernest B.
7. **Parent Case Data:** CROSS-REFERENCE TO RELATED APPLICATION.  
This application is a continuation-in-part of co-pending U.S. application Ser. No. 294,468 filed Oct. 2, 1972, and now U.S. Pat. No. 3,843,559 which issued Oct. 22, 1974.

### **A1.3.2 Claims**

1. What Is Claimed Is.

In a process for treating high rank, medium volatile bituminous coal consisting essentially of, preparing said coal for oxidizing by grinding, briquetting said ground coal, crushing said briquettes, fluidizing said prepared coal particles with a gas containing from about 1% to about 50% oxygen at a temperature from about 400 °F. to about 700 °F. until the Oxidation Number is at least 85, injecting water into said fluidized coal particles to control the temperature, carbonizing said oxidized coal at a temperature in the range of about 1,000 °F. to about 1,200 °F., and activating said oxidized - carbonized coal with an activating gas from the group consisting of steam and an oxygen containing gas at a temperature in the range of about 1,650 °F. to about 1,950 °F., the improvement comprising, crushing said briquettes to a particle size from about 3/4 inch to 4 mesh.

The process according to claim 1 wherein said oxidizing gas is air.

The process according to claim 1 wherein the oxidizing temperature is maintained at from about 500°F. to about 600°F.

The process according to claim 3 wherein the oxidizing temperature is controlled with said water to the desired temperature within the range of 500°F. and 600°F.

The process according to claim 1 wherein the particle average residence time during oxidation is up to about 2 hours.

The process according to claim 5 wherein the particle average residence time during oxidation ranges from 10 minutes to 1 hour.

### **A1.3.3 Description**

1. Background of the Invention:

**Field of the Invention:**

This invention relates generally to an improved process for making activated carbon using a fluidized bed technique for conditioning coal particles preliminary to carbonization and final activation. According to this invention, the process employs an oxidation treatment of prepared coal particles in a reactor having means for maintaining close control of the oxidation temperature and average residence time.

☑ **Description of the Prior Art:**

Numerous techniques have been heretofore proposed for making activated carbon. As will be appreciated by those skilled in this area of technology, the particular route taken depends -- to a great extent -- on the nature of the starting material, the end product desired in relation to its industrial application. Typical starting materials include coconut shells, used cooking liquors from paper mills and coal. Thus, where coal has been used as a carbon source, it is the usual practice to prepare the coal by one or more of the following conventional steps, crushing, washing, compacting, and sizing. Thereafter, the coal particles are heated to an elevated temperature wherein the volatile matter is substantially driven off.

One suggested approach to making activated carbon resides in the use of an upright retort such as described in U.S. Pat. Nos. 2,536,782 and 2,536,105, both being issued to K. B. Stuart on Jan. 2, 1951. The Stuart apparatus, directed only to carbonization and activation, comprises an inlet at the top of the retort for ingress of carbonaceous material and an outlet at the bottom for egress of activated carbon, the retort being divided into an upper carbonizing chamber and a lower activating chamber with a partition disposed between the two chambers with at least one opening therein for the passage downwardly of char from the upper chamber to the lower chamber and for the passage upwardly of gases from the lower chamber to the upper chamber.

Another technique for activation resides in the use of a kiln, wherein a bed of carbonaceous material is continually agitated at elevated temperatures by mechanical stirrers or by providing a rotating kiln to expose the coal to the action of hot reactive gases. This technique is referred to in the text, *Activated Carbon* by J. W. Hassler, Chemical Publishing Co., Inc., NY 1963, at page 181.



After an extensive period of investigation, it was found advantageous to employ one or more fluidized bed reactors for oxidation under controlled temperature and controlled environmental conditions to make activated carbon from bituminous coal. Bituminous coal particles become plastic-like and stick together when heated to 800°F., or thereabouts depending on the nature of the coal used, its particle size, etc. This "agglomerative" effect -- as it is commonly called -- is caused for the most part by the presence of tars and other volatiles present in the raw coal. This undesirable agglomerative characteristic is particularly troublesome where fluidized bed reactors are employed. As particles clump and grow larger, the fluid reactor can become plugged and must be cleaned. Moreover, as the particles grow larger, it becomes more difficult to maintain the particles in a fluidized condition which is necessary for efficient reaction. To avoid this particular problem, various suggestions have been made. For example, in U.S. Pat. No. 3,047,472 to Gorin, crushed coal is oxidized first at about 600°F., followed by a second oxidation at a temperature in excess of 850°F. The U.S. Pat. No. 3,076,751 to Minet also discloses a process for making char and recovering volatiles from coal. In this process, however, it is noted that an inert gas is used in a first reactor maintained at a temperature which can be as high as 1,600°F. The patents to Eddinger et al., U.S. Pat. Nos. 3,375,175 and 3,565,766, disclose multi-stage fluidized bed processes for pyrolyzing bituminous coal to obtain increased yields of oils and tars. Inert gas is employed as the fluidizing medium in both the initial pretreatment and higher temperature pyrolysis with the oxidizing fluidizing medium employed in the latter partial gasification stage where the temperature is at least 1,500°F.

From the foregoing brief description of pertinent prior art methods, it is seen that fluidization treatment of coal has been utilized, but not in the context of making activated carbon having predetermined tailored properties. Moreover, although oxidation of fluidized carbonaceous particles has been suggested, as a practical matter, this approach has met with difficulty, at least up until this invention.

Various suggestions have been made for controlling the oxidation reaction temperature, principally for pretreatment prior to gasification process wherein there is minimum oxidation. These include:

1. Varying the oxygen concentration of the fluidizing gas,
2. Recycle of a portion of the oxidized product, and
3. Immersion of cooling coils in the fluid bed.

Although the above-mentioned techniques provide some measure of temperature control, each suffers from disadvantages from a technical, as well as, commercial view point.

For instance, where the oxygen concentration is varied, a high degree of expensive, sophisticated analytical instrumentation is required. Moreover, this type of control tends to lag and does not have the best response to maintain proper, steady state conditions.

Where a portion of the oxidized product is withdrawn, cooled, and then returned to the fluidized bed to control the reaction temperature, as described in U.S. Pat. No. 2,560,478 to B. C. Roetheli, the oxidized coal recycle rate would have to be about 10 times larger than the feed rate in order to absorb the excess heat. Such high product recycle rate would result in a lower oxidized product yield because of attrition losses, particularly since the particle hardness is relatively low during the oxidation step.

Where the cooling coils are immersed in the fluidized bed to control the reaction temperature in the oxidation step, a considerably reduced throughput is obtained. Moreover, coils inside the bed would result in higher attrition losses thus decreasing the oxidized product yield. Cooling coils would also give wider variations in

steady state operating temperature and slower response to upsets in operating parameter because of the lag time for heat transfer inherent in cooling coils.

Thus, it will be apparent from the description which follows that the process according to the present invention has successfully overcome the disadvantages of the prior art approaches in a most efficient and economic manner.

#### **A1.3.4 Summary and advantages of the Invention**

The present invention offers significant advantages over the prior art methods for making activated carbon. Moreover, the present invention overcomes the problems previously associated with oxidation of carbonaceous particles by injecting water, preferably as a spray, directly into the fluidized bed being oxidized. The coal particles are subjected to an oxidizing fluidizing gas at a temperature from about 400 °F. to about 700 °F., preferably about 500 °F. to 600 °F. In the technique for making activated carbon according to the following steps:

- a.** Grinding high rank, raw bituminous coal;
- b.** Compacting the ground particles to briquettes;
- c.** Crushing the briquettes and sizing;
- d.** Oxidation to prevent agglomeration;
- e.** Carbonization; and
- f.** Activation,

the improvement comprising, crushing the briquettes to a size between 3/4 inch and 4 mesh, preferably 1/2 inch to 4 mesh.

As earlier mentioned, the oxidation reaction which destroys the agglomerating tendency is strongly exothermic, which when coupled with the necessity for conducting the reaction within fairly narrow temperature limits, presents a severe temperature control problem. The method according to this invention uses the addition of water, preferably by direct injection, such as a spray, through nozzles positioned above the fluidized bed or within the bed. Water is added or sprayed at a controllable rate, preferably automatically, for absorbing excess heat and maintaining the oxidation reaction temperature within the desired limits. In addition to maintaining the desired reaction temperature, it is believed the presence of water has a beneficial effect on the rate of the oxidation reaction, particularly at the lower end of the temperature range. For example, batch operation at 500 °F. for 20 minutes with an oxidizing gas containing 30% water vapor resulted in an oxidation number of 95; whereas, a reduction in water vapor content to 10% reduced the oxidation number to 1 for the same temperature and residence time. The advantages of the present method over a prior method used in oxidation of coal are as follows:

1. Fluidized bed gives oxidized product yield of 90 - 95% compared to 75-80% for one known rotary kiln.
2. Fluidized bed gives significantly less particle breakage during oxidation than does rotary kiln. Example: For nominal 12 x 40 mesh feed with average particle diameter of 1.30 mm., the average diameter of fluidized bed product was 1.26 mm. compared to 1.00 mm. for kiln product.
3. Fluidized bed installation requires less than half of the land space of an equivalent rotary kiln.

4. Fluidized bed unit has significantly higher throughput per unit volume, i.e., on the order of 16 lbs./hr.-ft.<sup>3</sup> reactor volume for fluidized bed compared to 4 lbs./hr.-ft.<sup>3</sup> kiln volume for rotary kiln.
5. The present invention offers improved operational reliability due to mechanical and/or instrumental simplicity and greater flexibility, faster response time and greater stability, especially after an upset in conditions.
6. No external fuel required with fluidized bed once oxidation is initiated.

The inherent differences between fluidized bed and rotary kiln also should be mentioned.

- a. The heat released by the exothermic oxidation reaction/unit volume bed is about 50,000 BTU/hr.-ft.<sup>3</sup> bed for fluidized bed oxidation compared to about 20,000 BTU/hr.-ft.<sup>3</sup> bed for rotary kiln oxidation.
- b. The exothermic heat is removed in the fluidized bed principally by vaporization of H<sub>2</sub>O; whereas, in the rotary kiln the exothermic heat is removed principally by the oxidizing gas.
- c. The product particles from fluidized bed oxidation remain in the reactor for varying lengths of time which is characteristic of back mix flow. Control of residence time, as well as, throughput in the fluidized bed may be assisted by insertion of baffles to minimize back mix flow, or the use of staging. In a rotary kiln, the particles remain in the kiln for the same length of time which is characteristic of plug flow. As a result of the residence time distribution of the particles in the fluidized bed, the amount of oxygen reacted to reach a given oxidation level as defined by an oxidation test is about 2.5 times that required in a kiln (0.25 lb.O<sub>2</sub>/lb. coal feed vs. 0.1 lb.O<sub>2</sub>/lb. coal). As a result of the high oxygen consumption in the fluidizing bed unit, a majority (about 80%) of the particles are completely oxidized with the remaining particles having

differing but lower levels of oxidation. The resulting oxidation achieved in the fluidizing bed unit is more desirable, as indicated by the production of a superior activated product. For example, fluid bed oxidation gives a 10 - 20% increase in Iodine Number (which is related to internal surface of the particles area) of the activated product over rotary kiln oxidation.

Studies indicate that the method according to the present invention provides oxidation temperature control within  $\pm 5$  °F. of the desired temperature. The control system functions effectively for both steady-state and for non-steady state operation such as at start-up, shutdown, and upsets in the process variables. This close control is achieved even where the process variables are widely ranged. These variables include feed throughput, feed particle size distribution, oxygen concentration of the fluidizing gas, bed temperature, inlet temperature of the fluidizing gas, fluidized bed depth and fluidizing velocity. It will, therefore, be appreciated that the foregoing advantages offer significant technical, as well as, economic benefits over conventional processes for making activated carbon.

### **A1.3.5 Brief Description of the Drawing**

Having briefly described the present invention, reference is now made to the drawing and the more detailed description of preferred embodiments which follow, in which:

FIG. 1 (**Figura A1.3**), is a block diagram illustrating the overall process for making activated carbon according to this invention; and

FIG. 2 (**Figura A1.4**), is a more detailed schematic illustration of the oxidation step shown in FIG. 1 wherein coal particles are treated in a fluidized bed reactor with means for injecting water to control the reaction temperature.

### **A1.3.6 Detailed Description of Preferred Embodiments**

Referring to FIG. 1 (**Figura A1.2**), it is seen that the process according to the present invention is particularly well suited for making granular activated carbon. The feed coal found to be most desirable for making activated carbon according to the process of this invention is referred to as high rank, medium volatile, strongly caking bituminous coal. Typically, such coals, according to A.S.T.M. classification, contain about 70% dry fixed carbon and about 30% dry volatile matter. Reference is made to the book, Chemistry of Coal Utilization, by Lowry, Chap. 2, (John Wiley and Sons, N. Y., 1945) for a more complete description of the various coal classification systems.

Coal, preferably high rank, medium volatile, strongly caking, bituminous coal, is first ground to a nominal 100 - 325 mesh, preferably at least 85% smaller than 100 mesh with 50 -75% smaller than 325 mesh, (U.S. Sieve Series, Standard) using conventional milling equipment. The coal is then compacted using conventional briquetting apparatus such as a roll press, hydraulic press or the like into regularly shaped porous blocks having approximate equivalent diameters from 10 inches to 1 inch. In circumstances where the raw coal does not have the requisite porosity, compacting is used to accomplish this and may impart a tenfold increase in porosity over the coal as received from the mines.

The compacted coal is then crushed and sized to yield particles of a particle size ranging from a nominal size of about 3/4 inch to about 4 mesh. The foregoing grinding, briquetting and crushing steps are designed to prepare the coal for oxidation by imparting a preferred porosity of 0.05 cc./gm. to 0.20 cc./gm. as measured by mercury porosimetry for pores with diameters greater than 200 A., so that the finally obtained activated carbon product will have the desired properties.

The coal particles are thereafter oxidized in a fluidized condition in a manner described in greater detail hereinafter. Oxygen-containing fluidizing gas at a temperature ranging from about 400 °F. to about 700 °F., and preferably at between 500 °F. to 600 °F., is employed to alter organic substances in the coal thereby

rendering the particles non - agglomerative. The average residence time during oxidation is up to about 2 hours, usually 10 minutes to 1 hour. The more severe temperatures, e.g., above 700°F., may result in destruction of the characteristic particle shape and particle fusion.

Thereafter, carbonization of the oxidized coal particles may be carried out also using fluidized bed or rotary kiln techniques at temperatures generally ranging from about 1,000 °F. to about 1,200 °F. The major part of the remaining organic material in the carbonaceous structure is removed under an inert atmosphere rendering the structure more suitable for activation. Activation is carried out at about 1,650°-1,950°F. with steam or a suitable oxygen-containing gas as the activating agent. The gasified combustible materials may be recovered, if desired. The gasified combustible materials including both organic materials such as carbon monoxide, methane and other hydrocarbons, as well as hydrogen, may be recovered and used as such or converted to other combustible materials such as synthesis gas. Although the precise mechanisms for activation and gasification are not fully understood, the result of such a procedure is to substantially increase the porosity and surface area of the carbon rendering the structure highly adsorptive.

Now referring to FIG. 2 (**Figura A1.3**), where the oxidation according to the present invention is schematically illustrated in greater detail than shown in FIG. 1, thus, it will be seen that the prepared coal feed is introduced at a controlled rate into the fluidized reactor 10 above support plate 12. The coal feed is metered from a hopper (not shown) into a screw conveyor (not shown) which discharges through line 14 into bed 16. The fluidizing medium designated as 18 is an oxidizing fluid, preferably oxygen - containing gas, which enters the reactor 10 through line 20 located below the perforated support plate 12. The percentage of oxygen in the fluidizing gas is critical and related to throughput. Therefore, it can be widely varied, e.g., from about 1% by volume to about 50%. As oxygen concentrations increase, the potential for causing fire as a result of too rapid oxidation increase. Good results have been obtained with gases containing from about 10% - 25% oxygen, by volume. For economy reasons, air



is employed (20.8% oxygen) although mixtures with lesser or greater concentrations of oxygen can also be used.

The bed temperature of the fluidized bed 16 is easily maintained at 550°F.  $\pm$  5°F. by a water spray 22 positioned in the reactor 10 above the fluidized bed 16 or may be sprayed directly into the bed. Automatic temperature sensing means, e.g., thermocouple 24 is preferably disposed in the fluidized bed 16 for fast response although it could also be positioned in the space 26 above the bed 16. Exothermal heat which is liberated during the oxidation of the fluidized particles is effectively removed by the addition of cooling water via header 22. The thermocouple 24 is connected to a temperature controller 28 which actuates the water inlet valve 30. Electrical or pneumatic means can be used to position valve 30. Alternatively, valve 30 can be manually controlled, if desired. It has been found that the direct injection of liquid water into the solid/gas mixture in the reactor 10 is extremely effective in controlling the reaction temperature. This results from the high rate of heat transfer between the liquid injected and the solid/gas mixture and the relatively high heat requirement for vaporization of water (about 1,000 BTU/lb.). Moreover, by using such direct cooling method, substantial economies can be effected. This includes lower capital investment and operating costs. Expensive heat exchange devices can be eliminated. By directly injecting water, the reaction temperature can be kept within  $\pm$  5° of the desired temperature. Spray cooling using a plurality of spray nozzles 32 is the preferred injection technique because of its faster response, better control and the like.

For a particular compacted coal, a bed temperature range of from about 400 °F. to about 700 °F. was employed with good success. Above 700°F., particle agglomeration begins to become a problem; and below 400 °F., the oxidation rate falls off rapidly. The 500 °F. to 600 °F. temperature range is preferred. The average residence time required of the coal particles in the reactor can vary widely depending on such factors as the type of coal employed, the percentage of oxygen in the fluidizing medium, the moisture content and the like. Generally, an average residence time of up to one hour or more is sufficient to achieve the desired results. Thus, for

example, coal particles leaving the fluid reactor 10 have an oxygen pickup value ranging from about 0.1 to about 0.50 pounds oxygen per pound of coal with an Oxidation Number of 85 or more signifying acceptable destruction of its agglomerating tendency. The oxygen pickup value signifies the amount of oxygen consumed by reaction and absorption. The Oxidation Number is herein defined as the percent of original sample in the particle size interval passing through the larger screen size after rapidly heating to 1,850°F., in the absence of air, in a Hoskins furnace.

After contacting the coal particles in the bed 16, the fluidizing gases are directed out of the reactor 10 through line 34 as an "off-gas." The off-gas can be recovered and reused or discarded by burning or the like. A cyclone separator (not shown) can be added to remove particulate matter prior to its discharge or further reuse. For economical reasons, the off-gas can be recycled back to the reactor inlet, through line 38, shown dotted. In this manner, except for start-up, all heat requirements are supplied by the exothermic heat of oxidation by recycling the exhaust gases. During start-up, no recycle gases will be available to furnish heat to reach operating temperatures. Therefore, an external source of the hot inert gases is required for blending with the fluidizing gas to obtain gases at 500 °F. or more. The oxidized product leaves the reactor 10 through line 36 where it can be recovered for further processing, as earlier described.

Having described the invention in general terms, the following example is set forth with reference to the drawing to more particularly illustrate the invention. This example is not meant to be limiting.

### **A1.3.7 Example 1**

A. Briquetted bituminous coal was sized to 1/2 inch × 4 mesh and subsequently oxidized according to the present invention in a pilot plant steel fluidized bed reactor under the following operation conditions: Coal Feed 1/2 Inch × 4 Mesh Compacted Coal Feed Rate 300 Grams Batch Charge Fluidizing Gas Air Bed Temperature 550 °F. Residence Time 20 Minutes Water Injection Controlled to Maintain Bed Temperature at 550 °F. The Oxidized Product had the Following Characteristics Product Oxidation Number 87 Product Apparent Density 44 (lbs./ft. <sup>3</sup>) Product Yield 94%

The oxidized granular particles which emerged from the reactor shown in FIG. 2 (**Figura A1.3**), were found to have good physical and non-agglomerating characteristics. It should be noted that an Oxidation Number of 87 signifies acceptable non-agglomerative properties and is equivalent to a Free-Swelling Index of zero according to A.S.T.M. Designation D – 720 – 46. By comparison, the starting bituminous coal had a Free-Swelling Index of 9.

B. The oxidized, non-agglomerating particles were then subjected to carbonization and activation treatment in conventional equipment at conventional conditions. The resulting activated carbon product had the following physical characteristics: Nominal Particle Size: 1/2 inch × 6 mesh Density: 33.5 lb./ft. <sup>3</sup> Iodine No. (1) : 991 Note: (1) Milligrams of Iodine adsorbed per gram carbon at residual filtrate concentration of 0.02N. It should be appreciated that the present invention is not to be construed as being limited by the illustrative embodiments. It is possible to produce still other embodiments without departure from the inventive concepts herein disclosed. Such embodiments are within the ability of one skilled in the art.

# A1.3 Patente N° 2: Method For Producing Shaped, Activated Charcoal.

Extracto de los Antecedentes de la Patente:


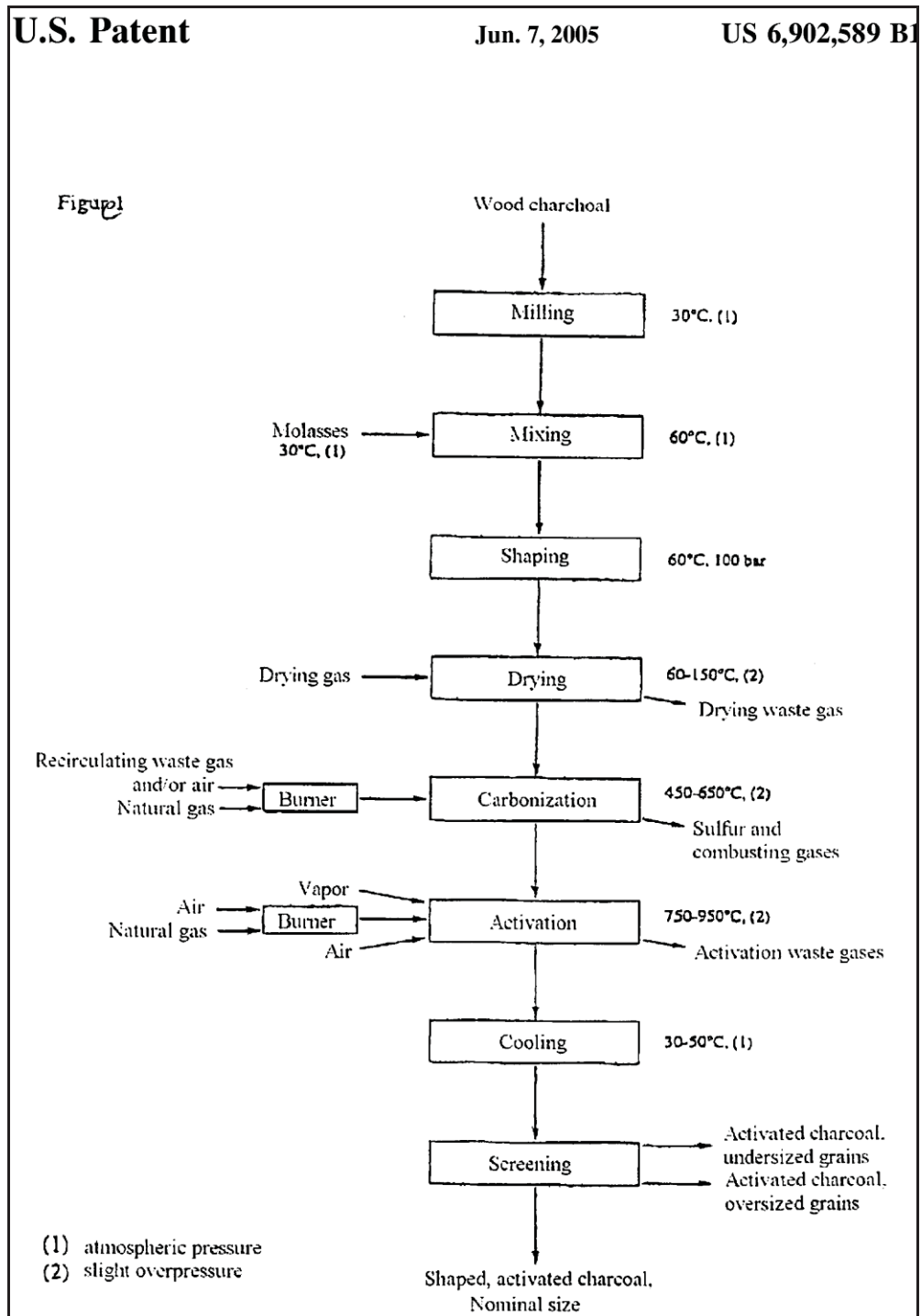
|   |   |
|---|---|
| <br>US006902589B1   |   |
| (12) <b>United States Patent</b><br><b>Guderian et al.</b>  | (10) <b>Patent No.:</b> <b>US 6,902,589 B1</b><br>(45) <b>Date of Patent:</b> <b>Jun. 7, 2005</b>   |
| (54) <b>METHOD FOR PRODUCING SHAPED, ACTIVATED CHARCOAL</b><br><br>(75) Inventors: <b>Joachim Guderian</b> , Castrop-Rauxel (DE); <b>Volker Heil</b> , Dortmund (DE); <b>Christian Horn</b> , Dortmund (DE); <b>Michael Feseker</b> , Dortmund (DE); <b>Jens Sohnmann</b> , Dortmund (DE)<br><br>(73) Assignee: <b>Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.</b> , München (DE)<br><br>(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 170 days.<br><br>(21) Appl. No.: <b>10/018,117</b><br>(22) PCT Filed: <b>Jun. 6, 2000</b><br>(86) PCT No.: <b>PCT/DE00/01881</b><br>§ 371 (c)(1), (2), (4) Date: <b>Dec. 14, 2001</b><br>(87) PCT Pub. No.: <b>WO00/78138</b><br>PCT Pub. Date: <b>Dec. 28, 2000</b><br><br>(30) <b>Foreign Application Priority Data</b><br>Jun. 18, 1999 (DE) ..... 199 28 001<br>Dec. 17, 1999 (DE) ..... 199 60 921<br>Jan. 28, 2000 (DE) ..... 100 03 660<br><br>(51) <b>Int. Cl.<sup>7</sup></b> ..... <b>C10L 5/00</b><br>(52) <b>U.S. Cl.</b> ..... <b>44/550; 44/551; 44/564; 44/565; 44/567; 44/569; 44/570; 44/577; 44/580; 44/589; 44/590; 44/591; 44/598; 44/599; 264/29.1; 264/29.6; 502/418; 502/428; 502/429; 502/430; 502/437</b><br>(58) <b>Field of Search</b> ..... <b>44/550, 551, 564, 44/565, 567, 569, 570, 577, 580, 589, 590, 591, 598, 599; 264/29.1, 29.6; 502/418, 428, 429, 430, 437</b> | (56) <b>References Cited</b><br><br>U.S. PATENT DOCUMENTS<br>2,546,903 A      3/1951      Morrell<br>4,002,587 A      1/1977      Watanabe et al.<br>5,306,675 A      4/1994      Wu et al.<br>5,498,589 A *    3/1996      Schroter et al. .... 502/416<br><br>FOREIGN PATENT DOCUMENTS<br>DE      38 34 743      4/1990<br>DE      41 32 971      4/1993<br>DE      42 34 785      4/1993<br>DE      42 34 786      4/1993<br>DE      44 16 576      11/1995<br>EP      0 423 967      10/1990<br>EP      0 725 036      8/1996<br>JP      05 262511      11/1993<br>RU      2 038 295      6/1995<br>RU      2 086 504      8/1997<br>SU      971 789      11/1982<br>SU      1 414 777      8/1988<br><br>* cited by examiner<br><br><i>Primary Examiner</i> —Cephia D. Toomer<br>(74) <i>Attorney, Agent, or Firm</i> —Collard & Roe, P.C.<br><br>(57) <b>ABSTRACT</b><br><br>The invention relates to a method for producing shaped, activated charcoal. According to the method, after being ground, carbon-bearing material, or a mixture of several carbon-bearing materials are rendered homogenous with a binding agent which contains water, or a mixture of several binding agents, at least one of which contains water. The mixture of carbon-bearing material and binding agent is then formed into shaped bodies. According to the invention, in order to consolidate the grain formation, these are dried until they exhibit a maximum total water content of 3% by wt. in relation to the shaped body. The shaped bodies which have been formed and dried in this manner are then subjected to a carbonization and subsequently a gas activation process.<br><br><b>25 Claims, 1 Drawing Sheet</b> |

Figura A1.5 – Antecedentes de la Patente N° 2: Method for Producing Shaped, Activated Charcoal – Fuente: <http://www.patentstorm.us/patents/6902589/fulltext.html>



### Esquema General del Proceso:



**Figura A1.6 – Esquema General del Proceso Patentado – Fuente:**  
<http://www.patentstorm.us/patents/6902589/fulltext.html>

### **A1.3.1 Texto Completo de la Patente**

1. **Title:** Method for Producing Shaped, Activated Charcoal.
2. **Patent ID:** US6902589.
3. **Issue Date:** Junio 7, 2005.
4. **Abstract:**

The invention relates to a method for producing shaped, activated charcoal. According to the method, after being ground, carbon - bearing material, or a mixture of several carbon-bearing materials are rendered homogenous with a binding agent which contains water, or a mixture of several binding agents, at least one of which contains water. The mixture of carbon - bearing material and binding agent is then formed into shaped bodies. According to the invention, in order to consolidate the grain formation, these are dried until they exhibit a maximum total water content of 3% by wt. in relation to the shaped body. The shaped bodies which have been formed and dried in this manner are then subjected to a carbonization and subsequently a gas activation process.

1. **Inventors:**

- Guderian, Joachim (Castrop-Rauxel, DE)
- Heil, Volker (Dortmund, DE)
- Horn, Christian (Dortmund, DE)
- Feseker, Michael (Dortmund, DE)
- Sohnemann, Jens (Dortmund, DE)
- Application Number:** 10/018117.

- ☑ **Publication Date:** 06/07/2005.
- ☑ **Filing Date:** 06/06/2000.
- ☑ **Primary Examiner:** Toomer, Cephia D.
- ☑ **Attorney, Agent or Firm:** Collard & Roe, P.C
- ☑ **Parent Case Data:** CROSS-REFERENCE TO RELATED APPLICATION. Applicants claim priority under 35 U.S.C. §119 of German Application Nos. 199 28 001.0, 199 60 921.7, and 100 03 660.0, bearing the filing dates of Jun. 18, 1999, Dec. 17, 1999, and Jan. 28, 2000, respectively. Applicants also claim priority under 35 U.S.C. §120 of PCT/DE00/01881 filed Jun. 6, 2000. The international application under PCT article 21(2) was not published in English.

### **A1.3.2 Claims**

1. A method for producing shaped, activated charcoal comprising the following steps: grinding one or more carbon-bearing materials; homogeneously mixing the milled carbon-bearing material with a water-containing binding agent or a mixture of several binding agents, of which at least one contains water; shaping the mixture consisting of carbon-bearing material and binding agent into molded articles; drying the molded articles before carbonization to set the grain structure to up to an overall water weight of  $\leq 3\%$  by wt.; drying the molded articles within 0.5 to 12 hours at temperatures of 40° C. up to 150° C.; wherein when drying the molded articles, a heated and, if necessary, oxygen-reduced or oxygen-free gas stream is passed over the molded articles; carbonizing the molded articles, and activating the molded articles by means of an activation gas.
2. The method according to claim 1, wherein drying takes place in a fixed bed and/or in a belt dryer.

3. The method according to claim 1, wherein the molded articles are dried to an overall water content of  $\leq 1\%$  by wt.
4. The method according to claim 1, wherein the molded articles are dried at below their self-ignition temperature.
5. The method according to claim 1, wherein the carbon-bearing material is wood charcoal, wood charcoal from old timber, peat coal, fruit pits, nut shells, coal coke and/or lignitic coke.
6. The method according to claim 1, wherein the carbon-bearing material used is carbonized via natural and/or synthetic thermal treatment of one or more carbon-bearing vegetable products.
7. The method according to claim 6, wherein the carbon-bearing material is wood charcoal and/or wood charcoal from old timber and from beechwood charcoal.
8. The method according to claim 1, wherein 100% by wt. of the carbon-bearing material is milled to a grain size of  $< 60 \mu\text{m}$ .
9. The method according to claim 8, wherein at least 95% by wt. of the carbon-bearing material is milled to a grain size of between 10 and  $45 \mu\text{m}$ .
10. The method according to claim 1, wherein the steps of mixing and shaping are carried out in one or two separate apparatuses.
11. The method according to claim 1, wherein the dried molded articles are carbonized at temperatures of 400 to  $750^\circ \text{C}$ .
12. The method according to claim 1, wherein the dried and carbonized molded articles are activated at temperatures of 700 to  $1000^\circ \text{C}$ .
13. The method according to claim 1, wherein the dried and carbonized molded articles are activated with water steam and/or carbon dioxide.
14. The method according to claim 1, wherein the carbon-bearing materials are homogeneously mixed before, during or after milling, and that this mixture of solids is



subsequently homogeneously mixed with the water-containing binding agent or the mixture of several binding agents, of which at least one contains water.

15. The method according to claim 1, wherein at least one already milled carbon-bearing material is used.

16. The method according to claim 1, wherein the molded articles are dried at temperatures of 60 to 150° C.

17. The method according to claim 1, wherein the molded articles are dried within 0.5 to 6 hours.

18. The method according to claim 1, wherein coal tar, wood charcoal tar, bitumen and/or an inorganic gel is used as any non-water-containing binding agent that might be present.

19. The method according to claim 1, wherein 10 to 60% by wt. binding agent, are used relative to the mixture consisting of carbon-bearing material and binding agent.

20. The method according to claim 1, wherein the binding agents, of which at least one contains water, are first homogeneously mixed with each other, and that this binding agent mixture is subsequently homogeneously mixed with the carbon-bearing material or the mixture of several carbon-bearing materials.

21. A method for producing shaped, activated charcoal comprising the following steps: grinding one or more carbon-bearing materials; homogeneously mixing the milled carbon-bearing material with a water-containing binding agent or a mixture of several binding agents, of which at least one contains water; shaping the mixture consisting of carbon-bearing material and binding agent into molded articles; drying the molded articles before carbonization to set the grain structure to up to an overall water weight of  $\leq 3\%$  by wt.; drying the molded articles within 0.5 to 12 hours at temperatures of 40° C. up to 150° C.; carbonizing the molded articles, and activating the molded articles by means of an activation gas; and wherein the water-containing binding agent is a binding agent with 10 to 50% by wt. water.

22. A method for producing shaped, activated charcoal comprising the following steps: grinding one or more carbon-bearing materials; homogeneously mixing the milled carbon-bearing material with a water-containing binding agent comprising molasses; shaping the mixture consisting of carbon-bearing material and binding agent into molded articles; drying the molded articles before carbonization to set the grain structure to up to an overall water weight of  $\leq 3\%$  by wt.; drying the molded articles within 0.5 to 12 hours at temperatures of 40° C. up to 150° C.; carbonizing the molded articles, and activating the molded articles by means of an activation gas.

23. A method for producing shaped, activated charcoal comprising the following steps: grinding one or more carbon-bearing materials; homogeneously mixing the milled carbon-bearing material with a water-containing binding agent or a mixture of several binding agents, of which at least one contains water; shaping the mixture consisting of carbon-bearing material and binding agent into molded articles; drying the molded articles before carbonization to set the grain structure to up to an overall water weight of  $\leq 3\%$  by wt.; drying the molded articles within 0.5 to 12 hours at temperatures of 40° C. up to 150° C.; carbonizing the molded articles, wherein the dried molded articles are carbonized in a three-zone torque tube; and activating the molded articles by means of an activation gas.

24. A method for producing shaped, activated charcoal comprising the following steps: grinding one or more carbon-bearing materials; homogeneously mixing the milled carbon-bearing material with a water-containing binding agent or a mixture of several binding agents, of which at least one contains water; adding one or more aggregates to the carbon-bearing material and/or the binding agent; shaping the mixture consisting of carbon-bearing material and binding agent and one or more aggregates into molded articles; drying the molded articles before carbonization to set the grain structure to up to an overall water weight of  $\leq 3\%$  by wt.; drying the molded articles within 0.5 to 12 hours at temperatures of 40° C. up to 150° C.; wherein when drying the molded articles, a heated and, if necessary, oxygen-reduced or oxygen-free gas stream is passed over the molded articles; carbonizing the molded articles, and activating the molded articles by means of an activation gas.

25. The method according to claim 24, wherein KOH solution K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, surfactant, stearate and/or carboxymethyl cellulose are added as the aggregate.

### **A1.3.3 Description**

This invention relates to a method for producing high - quality shaped, activated charcoal and the high - quality shaped, activated charcoal obtainable via this procedure. Activated charcoal is understood as carbon structures comprised of the smallest graphite crystallites and amorphous carbon with a porous structure and internal surfaces between 500 and 1500 m<sup>2</sup>/g. In addition to carbon, the highly active structure also contains small quantities of chemically bound oxygen and hydrogen. Further, activated charcoal can contain up to approx. 25% by wt. minerals. Activated charcoals are used on a large scale to clean liquids and gases, for example. Due to its large internal surface, the activated charcoal here acts as an adsorbent to remove the undesired or harmful constituents. For example, activated charcoal can be used to remove: dyes, flavorings and perfumes comprised of gases, chlorine and ozone from water, radioactive gases in nuclear engineering. Activated charcoal can also be used as an adsorbent to recycle valuable solvent or adsorb the tank losses during refueling.

Coal or carbon-bearing materials are either heated with dehydrating agents and then cleaned via rinsing (chemical activation) or carbonized via dry distillation and then oxidatively activated with water vapor and/or carbon dioxide (gas activation) to produce activated charcoal. Vegetable (e.g., wood, peat, nut shells, fruit pits, lignites, wood charcoal), animal (e.g., blood, bone) and/or mineral (e.g., lignite or hard coal, petrochemical hydrocarbons) raw materials can be used as the carbon-bearing materials.

For applications in liquid and gas cleaning, activated charcoal must be present in powder, grain or granulated form. The corresponding shaped, activated charcoal is produced by activating a grain raw material or the carbon - bearing,

pulverized raw material is made into a paste with a binding agent prior to activation, then briquetted and, if necessary, the briquettes are comminuted to the desired grain size. Numerous methods for producing shaped, activated charcoal are known from prior art. In particular, they are also the subject of a series of patents or patent applications.

For example, DE 38 34 743 A1 describes a method for producing coarse-pored shaped - charcoal based on wood charcoal dust, wood charcoal tar as the binding agent and sodium hydroxide solution for impregnation via mixing, kneading, shaping, swelling and activating with water vapor or carbon dioxide. The wood charcoal dust, and hence the activated charcoal made out of the latter, contains a significant proportion of ash, depending on origin and raw material. However, this ash does not contribute to the formation of the active surface of the activated charcoal. Therefore, the resultant activated charcoals only have a moderate adsorption capacity. In addition, the activated charcoal must also be washed and dried.

DE 41 32 971 A1 describes a method for producing carbon molecular sieves out of very finely milled hard coal with the addition of hard coal tar pitch as the binding agent, in which the hard coal is oxidized with air before adding the binding agent, and activated with water vapor after swelling, and then treated with carbon-splitting hydrocarbons. Activated charcoal produced in this complicated procedure has a very narrow pore radius distribution in the micropore range that is especially suited for separating oxygen and nitrogen. The additional procedural outlay consisting of an oxidative pretreatment of the hard coal and a second activation stage using carbon-splitting hydrocarbons is not required or constitutes an impediment for the majority of activated charcoal applications. In addition, the use of tar or peat as the binding agent is associated with disadvantages given the increasing importance of issues relating to environmental policy. Both tar and peat are toxic to humans and the ecology and are difficult to handle since all storage facilities and transport paths must be heated.

EP 423 967 B1 describes a method for producing grain activated charcoal using a chemical activation process. The starting materials are carbon-bearing vegetable products, e.g., nut shells, fruit or olive pits, with a concentration of

more than 30% by weight of natural binding agent, in particular lignin. This starting material is comminuted, mixed with phosphoric acid for impregnation, palletized and carbonized. Activated charcoals made out of such vegetable products have too low a hardness for various applications. In addition, as opposed to gas activation, chemical activation requires the additional step of washing to remove the acid. In this case, additional legal statutes for handling chemical substances necessary for washing and old chemicals must be taken into account, and additional investment costs are incurred.

U.S. Pat. No. 5,306,675 describes a method for producing briquettes to produce shaped, activated charcoal. The educt is a mixture of coal and/or graphite, 3-10% methyl cellulose and/or its derivatives as the binding agent, 0.5 - 5% polyvinyl alcohol as the co-binding agent, and 100 - 200% water relative to the carbon. After being shaped, the activated charcoal bodies are first irradiated with electromagnetic radiation, and then stored in a conventional furnace until their water content measures 15% of the original value. During further processing to shaped, activated charcoal, i.e., carbonization and activation, the active charcoal briquettes peel and crack. In addition, briquettes produced with this method are not strong enough for many applications, and have a rather low hardness.

DE 42 34 785 C2 and DE 42 34 786 C2 describe methods for producing shaped, activated charcoal by milling educts, mixing with a binding agent, molding or extruding the mixture into briquettes, and then carbonizing and activating the briquettes in a special rotary kiln. DE 42 34 786 C2 uses wood charcoal obtained from old timber as the educt, while DE 42 34 785 C2 uses a mixture of wood charcoal and dried clarifier sludge granulate. Due to the low - quality educts old timber and clarifier sludge, the fabricated activated charcoals have negative effects on the product properties. For example, the ash content of an activated charcoal produced according to DE 42 34 785 C2 is very high at 10 to over 30% by wt. (relative to the dry activated charcoal). As a consequence, the values for the specific surface of the activated charcoal are clearly below those of very good products (e.g., only an iodine number of 950 m<sup>2</sup>/g can be measured when using clarifier sludge and wood coal in a ratio of

1:1). The activated charcoals produced with these two methods also exhibit generally undesired cracks in the material, which can result in a weakening or even peeling of the grain composite. In addition, a more comprehensive gas cleaning system must be installed during carbonization when using clarifier sludge, and in particular loaded old timber, which leads to additional investment costs. Further, interfering substances such as inerts, iron or non - iron metals (FE/NE metals), etc. must be expected when using coal from old timber, which must be removed using the appropriate procedures.

Therefore, the object of this invention is to provide high - quality shaped, activated charcoal and a method for producing this high - quality shaped, activated charcoal that does not exhibit the disadvantages inherent in the prior art. In particular, the shaped, activated charcoal is to be inexpensively and easily produced, and exhibit large active surfaces and a good hardness. It must also be possible to use the method according to the invention in already existing plants for producing shaped, activated charcoal without any major modifications. This object is achieved by the method according to the main claim and the shaped, activated charcoal according to subsidiary claim **24**. Special characteristics of the method are described in the subclaims.

In the procedure for producing formed, activated charcoal according to the invention, a carbon - bearing material or a mixture of several carbon-bearing materials are homogeneously mixed after being milled or ground with an aqueous binding agent or a mixture of several binding agents, of which at least one contains water. The mixture of carbon - bearing materials and binding agents is then shaped into molded articles. These are dried according to the invention to an overall water content of at most 3% by wt. relative to the molded article weight. The molded articles shaped and dried in this way are then subjected to carbonization, followed by gas activation. In this application, water-containing binding agents are to be understood here generally as those binding agents having a water content of between 10 and 50% by wt., preferably between 15 and 25% by wt. Without limiting the universality, examples for aqueous binding agents used according to the invention include sugar

beet molasses, sugar cane molasses or aqueous solutions of sodium carboxymethyl cellulose, starch, polyvinyl acetate or polyvinyl alcohol.

All carbon-bearing organic materials can be used as the carbon - bearing material according to the invention. This material is preferably free of binding agents. In addition, a carbon - bearing material is preferably used that was produced through natural and/or artificial thermal treatment of a carbon - containing vegetable product. Particularly preferred in this respect are wood coal and/or wood coal from old timber. Other advantageously used carbon - bearing materials include peat coal, hard vegetable cores, nut shells, coal coke and lignitic coke. However, wood coals, in particular beechwood coals, are preferably used, since the shaped, activated charcoal fabricated out of wood coal according to the invention exhibits particularly good product characteristics, e.g., a high adsorption capacity and a very good hardness of the shaped, activated charcoal article. According to the invention, this is facilitated by the natural capillary structure of the wood charcoal, which already model the macropores of the shaped, activated charcoal article.

One or several aggregates can optimally be added to the carbon-bearing material. Suitable aggregates improve the processability of the mixture consisting of carbon - bearing material and binding agent while shaping and/or have a catalytic effect during gas activation. According to the invention, all aggregates known in prior art can be used for producing activated charcoal. Preferably employed as the aggregates are KOH solution,  $K_2CO_3$ , surfactants, stearates and/or carboxymethyl cellulose (CMC) with respective percentages by weight of up to 20% by wt. relative to the mixture consisting of carbon-bearing material and binding agent.

According to the invention, the carbon-bearing material and, if necessary, the aggregates are finely milled. 100% of the milled product here preferably has a grain size of less than 60  $\mu\text{m}$ . A grain spectrum of 100% by wt. less than 60  $\mu\text{m}$  and at least 95% by wt. between 10 and 45  $\mu\text{m}$  is particularly preferred. In a preferred variant, at least one carbon-bearing material is already milled prior to use.

The product of milling is homogeneously mixed with a water-containing binding agent or a mixture of several binding agents, of which at least one contains water. In preferred embodiments, binding agents or carbon-bearing materials are first homogeneously mixed and then blended with the carbon-bearing materials or binding agents. Homogeneous mixing can take place in a sigma or Z kneader, for example.

All binding agents that wet the carbon-bearing materials in a homogeneous mixture and can form a hard matrix after drying and carbonization are suitable as the binding agents. According to the invention, at least one water-containing binding agent is used for this purpose. Molasses, in particular sugar beet and/or sugar cane molasses, or aqueous solutions of sodium carboxymethyl cellulose, starch, polyvinyl acetate or alcohol are especially preferred as the water-containing binding agents. As opposed to conventional binding agents, molasses has no constituents toxic to humans or the ecology, is additionally readily available, easy to handle and inexpensive.

Of a mixture of water-containing and non-water-containing binding agents, all binding agents known from prior art can be used as the non-water-containing binding agents. Here, preference is given to coal tar, wood coal tar, bitumen and/or inorganic gels (e.g., silica gel, iron or aluminum hydroxide). The percentage of binding agent or binding agent mixture in the composition can vary within broad limits. 10 to 60% by wt. of binding agent relative to the mixture of carbon-bearing material and binding agent are preferably used. 25 to 40% by wt. binding agent is especially preferred.

After the homogeneous mixing of carbon-bearing material and binding agent, this mixture is shaped into molded articles of a suitable size via conventional shaping procedures. For example, the raw briquettes can be shaped using an edge mill, tuber or extruder. The steps of mixing and shaping are here preferably carried out in separate apparatuses. In a preferred embodiment of the method according to the invention, the carbon-bearing material is mixed with the binding agent in the same apparatus as the subsequent shaping. This preferably takes place in an extruder.



The molded articles are advantageously dried to  $\leq 3\%$  by wt. residual moisture or overall water content in an apparatus provided solely for this purpose, in which the retention time and heating rate or temperature can be flexibly set. By drying in a suitable apparatus instead of the torque tube typical for carbonization, the molded articles can be heated slowly and gently, if necessary in a fixed bed, so that the grain structure of the molded articles remains undamaged, and the molded articles are not comminuted or deformed. The intermediate product obtained after drying hence exhibits optimized properties relative to hardness and grain structure, and can therefore be smoothly carbonized and activated, without the grain structure being disrupted in the process. During direct carbonization of the undried molded article, the grain structure becomes weakened by too high a water vapor partial pressure inside the molded article at the high carbonization temperatures, which yields loss in hardness and peeling areas. The moist drying flue gases can also be separately removed, and hence do not get into the carbonization or activation gas stream, where they would sustain an uncontrolled activation reaction.

For drying purposes, a belt dryer is preferably used and the molded articles are advantageously dried in a fixed bed. It is especially preferred that the molded articles be dried to a residual moisture of 0,1% by wt.

In addition, the molded articles are also dried in a heated and, if necessary, oxygen - reduced or oxygen - free gas stream. The gas stream is routed in a suitable manner, preferably in a countercurrent or crosscurrent to the molded articles in the drying apparatus.

The molded articles are preferably dried within 0.2 to 12 hours. In this case, temperatures ranging from 40 to 170° C. are preferably used. It is especially preferred that the molded articles be dried within 0.5 to 6 hours and at 60 to 150° C. It is especially preferred that drying take place below the self-ignition temperature of the molded articles.

Low-volatile compounds and water escape during the gentle drying process, which causes the molded articles to become mechanically fixed. In addition,

initial condensation reactions between the sugar molecules of the binding agent take place, in particular when using molasses as the binding agent. As a result, the mechanical fixing of the molded article is also accompanied by a chemical solidification due to drying. After the molded articles have been dried, they are carbonized according to methods known in prior art for producing activated charcoal. Temperatures ranging from 400 to 750° C. are here preferably used as the target temperatures. In addition to the loss of volatile organic constituents, the carbon is carbonized out of the binding agent at these temperatures, and a shared carbon lattice is built up out of the carbon of the binding agent and that of the carbon - bearing material. It is especially preferred for carbonization to take place at 500 to 650° C.

In a preferred embodiment of the method according to the procedure, the molded articles are carbonized in a three - zone revolving tube. This revolving tube is distinguished by its special temperature control: in the first zone of the revolving tube, the treated material is preferably heated at 5° C./min to 250° C., and in the second zone preferably at 10° C./min to the target temperature; in the third zone, the briquettes stay at the desired temperature, during which the material and heat transport in the revolving tube is supported by lifting flights. This special temperature control in the three - zone revolving tube ensures a gentle expulsion of the volatile constituents from binding agent and carbon carrier. This is of importance in particular for the targeted formation of the macropore structure.

After carbonization, the molded articles are subjected to gas activation. The carbonisate is activated here with the help of a gas according to a method known from prior art. Activation preferably takes place at 700 to 1000° C. It is particularly preferred that temperatures of 800 to 950° C. be used. The molded articles can be activated using all gases known for this purpose. Water vapor and carbon dioxide are particularly suitable.

Surprisingly, it has been found that the method according to the invention achieves very good product hardness for the produced activated charcoals, in particular owing to the slow and gentle drying step. In addition to the slow heating rate, during which the moisture of the molded article is released over a long period of

time, a fixed bed for the soft molded article is also advantageous. As a result, no undesired cracks, and hence weakening or even peeling or bursting of the grain structure, takes place during subsequent carbonization and activation of the molded articles. In addition, the separate step prevents the water moisture that arises while drying from getting into the gas stream of the carbonizer and potentially the activator, where it is undesired and can yield uncontrolled gas activation reactions.

The shaped activated charcoal articles produced with the method according to the invention exhibit very good product qualities. For example, the high abrasion resistance of the shaped, activated charcoal fabricated according to the invention also makes it suitable for reactivation, so that it can be reused several times. In addition, when using wood charcoal, the method optimally utilizes the wood structure of advantage in terms of the adsorption properties: The structures arising from the wood cells that are retained during the thermal processes are utilized as access pores for adsorption. With respect to the ash content and specific surface, the activated charcoal produced according to the invention achieves above - average values. Further, in particular the significant rise in hardness for the carbonisate and activate relative to that in prior art must be emphasized.

The adsorption and desorption characteristics of activated charcoal is essentially determined by its pore structure, i.e., pore diameter, volume and distribution. The large internal surface of activated charcoal can be primarily attributed to micropores with a radius of up to 2 nm. The pore structure of the resulting shaped, activated charcoal can advantageously be influenced in a targeted fashion with the method according to the invention, e.g., by suitably setting the parameters in the thermal processes of drying, carbonization and activation (e.g., temperature, retention time, vapor dosage), or suitably selecting (e.g., various wood charcoals, various water-containing binding agents) or preparing (e.g., grain size of milled carbon-bearing material, water content of binding agent) the raw materials. The use of aggregates can also influence the product properties in the desired manner. For example, using a very finely milled carbon-bearing material in conjunction with an elevated briquetting pressure while molding results in a harder carbonisate. If this carbonisate is activated

for a comparatively long time at a low activation temperature, the activate will have an elevated share of micropores. In contrast, higher activation temperatures at shorter activation times yield activates with an expansive transition and macropore range.

Therefore, the properties of the activated charcoal produced according to the invention can be set by changing the formula or procedural parameters in a targeted fashion for specific applications. In particular, the activated charcoal produced according to the invention is suited to the various methods of solvent recovery, for obtaining and recycling gases and vapors, for adsorptive gas cleansing, for combustion gas preparation, for use in automotive filters (internal filters, tank loss filter), for drinking, waste and industrial water purification, and for the purification, deodorization and decoloration of liquids.

In addition, the method according to the invention advantageously makes it possible, for the first time, to produce a high - quality shaped, activated charcoal exclusively on the basis of reproductive raw materials by using educts like wood charcoal as the carbon - bearing material, and molasses as the water-containing binding agent. The method according to the invention therefore takes into account regulations governing production - integrated environmental protection through the use of ecologically harmless reproductive raw materials and process-internal heat control.

Further, the use of existing plants for producing shaped, activated charcoal is possible to a very large extent during the execution of the method according to the invention. Only a slight additional investment is required for the additional step of drying the molded articles in a furnace provided solely for this purpose. The subject matter of the invention will be explained in greater detail based on several embodiments without limiting the universality. FIG. 1, shows the diagrammatic sequence of the method according to the invention for producing shaped, activated charcoal based on a possible embodiment, in which wood charcoal is used as the carbon-bearing material, and molasses as the water - containing binding agent.

The educts used in the following examples 1 to 3 have the specifications listed in Table 1. Examples 1 and 2 describe production methods according to the invention for shaped, activated charcoal. Example 3 only examines the step of drying the molded articles and how that affects the hardness of the molded articles.

| <b>TABLE 1</b>  |             |                                |                            |
|---|-------------|--------------------------------|----------------------------|
| <b>Characteristic Material Data for the Educts</b>    |             |                                |                            |
| <b>Property Origin</b>                                | <b>Unit</b> | <b>Wood Charcoal Beechwood</b> | <b>Molasses Sugar Cane</b> |
| Water content according to DIN 51718                  | % by wt.    | 5.9                            | 19.6                       |
| Ash content (i.wf.) according to DIN 51719            | % by wt.    | 1 .8                           | 8.6                        |
| Content of volatile constituents (i.wf.) to DIN 51720 | % by wt.    | 14.7                           | -                          |
| Sugar content according to Fehling                    | % by wt.    | -                              | 63.7                       |

**Tabla A1.1 – Characteristic Material Data for the Educts.**

## A1.4 Example 1

The wood charcoal is comminuted to a grain size of 95% by wt. <40 µm in a ball mill. A mixture of 63% by wt. coal dust and 37% by wt. molasses is produced with a Z kneader out of the educts (specifications per Table 1). Shaping takes place in an edge mill press, which compresses the material being mixed into briquettes with a diameter of 4 mm and a length of between 4 and 10 mm. The briquettes are then dried for 3 hours in a fixed bed in a recirculating air drying cabinet at 120° C. The residual moisture measures 0.92% by wt.

The dry briquettes are carbonized for a period of 2 hours at 500° C. in an inert gas atmosphere. The carbonisate is subsequently activated with water vapor in a rotary kiln at 850° C. for a period of 5.5 hours under an inert gas atmosphere. The shaped, activated charcoal produced in this way exhibits the product properties cited in Table 2.

| <b>TABLE 2</b>  |             |                      |
|---|-------------|----------------------|
| <b>Characteristics Quality Properties of the Activated Charcoal</b> |             |                      |
| <b>Property</b>   | <b>Unit</b> | <b>Specification</b> |
| Ash content (i.wf.) according to DIN 51719                          | % by wt.    | 4.2                  |
| Ball pan hardness according to ASTM D 3802-79                       | % by wt.    | 99.2                 |
| Iodine number according to AWWA B 600-78                            | mg/g        | 1240                 |
| Methylene blue number according to DBA 6                            | ml          | 29                   |

**Tabla A1.2 – Characteristics Quality Properties of the Activated Charcoal.**

## A1.5 Example 2

The wood charcoal is comminuted to a grain size of 95% by wt. <27 µm in a ball mill. A mixture of 66.5% by wt. coal dust and 33.5% by wt. molasses is produced with a Z kneader out of the educts (specifications per Table 1). Shaping takes place in an edge mill press, which compresses the material being mixed into briquettes with a diameter of 2 mm and a length of between 2 and 10 mm. The briquettes are then dried for 3 hours in a fixed bed in a recirculating air drying cabinet at 120° C. The residual moisture measures 0.90% by wt.

The dry briquettes are carbonized for a period of 2 hours at 500° C. in an inert gas atmosphere. The carbonisate is subsequently activated with water vapor in a rotary kiln at 900° C. for a period of 5 hours under an inert gas atmosphere. The shaped, activated charcoal produced in this way exhibits the product properties cited in Table 3.

| <b>TABLE 3</b>  |             |                      |
|---|-------------|----------------------|
| <b>Characteristics Quality Properties of the Activated Charcoal</b> |             |                      |
| <b>Property</b>   | <b>Unit</b> | <b>Specification</b> |
| Ash content (i.wf.) according to DIN 51719                          | % by wt.    | 6.8                  |
| Ball pan hardness according to ASTM D 3802-79                       | % by wt.    | 98.8                 |
| Iodine number according to AWWA B 600-78                            | mg/g        | 1201                 |
| Methylene blue number according to DBA 6                            | ml          | 25                   |

**Tabla A1.3 – Characteristics Quality Properties of the Activated Charcoal.**

## A1.6 Example 3

In this embodiment, the drying of the briquettes will be examined in greater detail. For these tests, a mixture of 63% by wt. charcoal dust and 37% by wt. molasses is used (specifications per Table 1). This mixture has a water content of approx. 11% by wt.

(i) Five partial beds of undried molded articles are prepared in flat tanks (bulk height approx. 20 mm) and dried in a fixed bed at 80° C. in a recirculating air dryer for between 0.5 and 4 h. The respective drying loss of the partial beds is documented. It asymptotically approaches a value averaging 12% by wt., wherein an average drying loss of 7.2% by wt. is already measured after 2 h.

(ii) In comparison to these data, a partial bed of undried pellets treated at rest in a CO<sub>2</sub> - inertized furnace for 0.75 h at 300° C. experiences a drying loss of 27.9% by wt., wherein approx. 15% by wt. of volatile, organic compounds are expelled in addition to the water moisture. However, beds treated in this way are characterized by the appearance of fines, which consist of pellet pieces peeled off in disks. A random selection of individual pellets examined under a light microscope reveals a significantly higher number of deep, transverse cracks inside these molded articles.

(iii) A partial bed of undried molded articles is first dried in a fixed bed for 4 h at 80° C. and then while at rest in a CO<sub>2</sub> - inertized furnace for 0.75 h at 300° C. The drying loss measures 28.7% by wt. After the partial beds are dried according to the alternative methods mentioned above, the Ball-Pan hardness of the dried briquettes is subsequently determined according to ASTM D 3802-79, which are documented on Table 4.



| <b>TABLE 4</b>  |   |
|---|---|
| <b>Mode of Treatment and Resulting Ball – Pan Hardness of Dried Briquettes</b>        |   |
| <b>Treatment</b>  | <b>Ball – Pan Hardness ASTM D 3802-79</b> |
| (i) Resting storage at 80° C. for 4 h   | 99.0% by wt.                              |
| (ii) Resting storage at 300° C. for 0.75 h  | 99.2% by wt.                              |
| (iii) Resting storage at 80° C. for 4 h with subsequent storage at 300° C. for 0.75 h | 99.8% by wt.                              |

**Tabla A1.4 – Mode of Treatment and Resulting Ball – Pan Hardness of Dried Briquettes.**

The dried briquettes have a good to very good hardness (compare Table 4). Even though the sample dried at 300° C. (ii) has a slightly better hardness than the sample dried at 80° C. (i), the treatment according to method (ii) is not advantageous. This stems from the fines generated through peeling. In addition, the briquettes dried according to method (ii), as mentioned above, exhibit cracks and crevices, which weaken the grain structure, in particular as regards the further thermal treatment during carbonization and activation. By contrast, the molded articles dried according to method (iii) achieve a very good hardness without any discernible peeling, cracks or crevices. This method (iii) adjusts the sequence of the procedure according to the invention satisfactorily well with respect to drying and subsequent further heating in the carbonizing tower.

## **A1.7 Bibliografía**

1. Patente N° 1: **Process For Making Activated Carbon From Agglomerative Coal** – Fuente: <http://www.patents.com/Process-making-activated-carbon-agglomerative-coal/US3951856/en-US/>.

2. Patente N° 2: **Method for Producing Shaped, Activated Charcoal** – Fuente: <http://www.patentstorm.us/patents/6902589/fulltext.html>.

***ANEXO II***  
***- Validación Experimental -***

## A2.1 Introducción

El Objetivo general de la presente investigación consiste en determinar la capacidad de adsorción del Carbón de Cáscaras de Nuez, en su forma activada con  $H_3PO_4$  y Vapor de Agua, así como no activado. Las pruebas químicas para la determinación de la capacidad de adsorción de ambos carbones se basaran en dos métodos normados según ASTM, los cuales son. **Aplicación de índice de Azul de Metileno y Aplicación Número de Yodo: Norma ASTM D4607.**

Este objetivo general por tanto conlleva una serie de actividades para la caracterización de estas cáscaras, aportando datos prácticos para poder ser comparados con las cualidades de otros carbones activados industriales y de esa manera posicionar una nueva alternativa en procesos donde se puedan ver ventajas comparativas en costo y capacidad de adsorción.

Este estudio en definitiva esta orientado a una segunda etapa de proyecto, la cual contempla un estudio de factibilidad económica y técnica hacia la producción industrial de carbón activado de cáscaras de nuez. En conclusión este objetivo general responde a la pregunta de cuales son las características físico – químicas del carbón activado de cáscaras de nuez, y su capacidad de adsorción, determinando los siguientes parámetros:

- Numero de Yodo (carbón Activado y no Activo)
- Índice de Azul de Metileno (carbón Activado y no Activo)
- Humedad (Carbón Activado y Materia Prima)
- Cenizas

## **A2.1.1      Objetivos Específicos**

- 1.**      ***Primer Objetivo Específico:*** *Determinación de la Relación másica entre cáscara – fruto y estructuras internas - fruto, de muestras de cáscaras de nuez.*
  
  - 2.**      ***Segundo Objetivo Específico:*** *Determinación de Humedad de las Cáscaras, Carbón Activado y No Activado de Cáscaras de Nuez.*
  
  - 3.**      ***Tercer Objetivo Específico:*** *Eficiencia del Carbón y del Carbón Activo de cáscaras de nuez.*
  
  - 4.**      ***Cuarto Objetivo Específico:*** *Determinación de adsorción de la superficie activada del carbón activado y no activado, (CAP) y (CAG).*
- 
- A.**      **Aplicación Número de Yodo: Norma ASTM D4607.**
  - B.**      **Aplicación de índice de Azul de Metileno.**

## A2.2 Resultados de Análisis

### A2.2.1 Análisis Cáscaras de Nueces y Carbón Natural

Nomenclatura para la sección A2.1.2

(CNP): Carbón Natural en Polvo, Sin Activación.

(CNG): Carbón Natural Granular, Sin Activación.

(CAC): Carbón Activado Comercial.

| RELACIÓN ENTRE: (CÁSCARA + ESTRUCTURAS INTERNAS) Y NUEZ ENTERA |                       |                                      |            |
|--|-----------------------|--------------------------------------|------------|
| MUESTRAS   | MASA NUEZ ENTERA (gr) | MASA CÁSCARA + ESTRUCTURAS INT. (gr) | RELACIÓN % |
| 1  | 5,2445                | 2,6878                               | 51,25%     |
| 2  | 5,2356                | 2,6188                               | 50,02%     |
| 3  | 5,11                  | 2,4540                               | 48,02%     |
| 4  | 4,9587                | 2,4422                               | 49,25%     |
| 5  | 5,2385                | 2,5265                               | 48,23%     |
| 6  | 5,9981                | 2,9541                               | 49,25%     |

| EFICIENCIA CARBONIZACIÓN (CNP) Y (CNG) |                     |                  |                            |
|--|---------------------|------------------|----------------------------|
| TIPO CARBÓN                            | MASA PRECURSOR (gr) | MASA CARBÓN (gr) | EFICIENCIA CARBONIZACIÓN % |
| CNP                                    | 13,7525             | 3,9317           | 28,59%                     |
| CNP                                    | 14,6245             | 4,1823           | 28,60%                     |
| CNP                                    | 15,2259             | 4,3245           | 28,40%                     |
| CNG                                    | 12,3256             | 3,2332           | 26,23%                     |
| CNG                                    | 13,2145             | 3,5625           | 26,96%                     |
| CNG                                    | 12,1244             | 3,125            | 25,77%                     |

| <b>PRUEBA HUMEDAD (CNP) - (CNG) Y (CAC)</b> |                         |                              |                    |
|---|-------------------------|------------------------------|--------------------|
| <b>TIPO CARBÓN</b>                          | <b>MASA CARBÓN (gr)</b> | <b>MASA CARBÓN SECO (gr)</b> | <b>HUMEDAD (%)</b> |
| <b>CNP</b>                                  | 1,382                   | 1,3089                       | 5,29%              |
| <b>CNP</b>                                  | 1,3253                  | 1,2482                       | 5,82%              |
| <b>CNP</b>                                  | 1,3244                  | 1,2582                       | 5,00%              |
| <b>CNG</b>                                  | 1,2335                  | 1,1565                       | 6,24%              |
| <b>CNG</b>                                  | 1,2256                  | 1,1502                       | 6,15%              |
| <b>CNG</b>                                  | 1,0125                  | 0,9515                       | 6,02%              |
| <b>CAC</b>                                  | 1,2504                  | 1,1125                       | 11,03%             |
| <b>CAC</b>                                  | 1,3562                  | 1,2012                       | 11,43%             |
| <b>CAC</b>                                  | 1,3356                  | 1,1895                       | 10,94%             |

| <b>PRUEBA 1 (250-300 °C): N ° DE YODO, PARA (CNP) Y (CNG)</b> |                         |  |                     |          |          |           |          |
|---|-------------------------|--|---------------------|----------|----------|-----------|----------|
| <b>TIPO CARBÓN</b>  | <b>MASA CARBÓN (gr)</b> | <b>ml Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | <b>X/M (mgr/gr)</b> | <b>A</b> | <b>B</b> | <b>DF</b> | <b>C</b> |
| <b>CNP</b>  | 1,3381                  | 34,8   | 862,78              | 2313,81  | 15,14    | 2,2       | 0,0830   |
| <b>CNP</b>  | 1,3203                  | 34,5   | 881,98              |          |          |           | 0,0823   |
| <b>CNP</b>  | 1,287                   | 36,8   | 845,26              |          |          |           | 0,0878   |
| <b>CNG</b>  | 1,3213                  | 35,4   | 858,62              |          |          |           | 0,0845   |
| <b>CNG</b>  | 1,3241                  | 34,3   | 884,48              |          |          |           | 0,0818   |
| <b>CNG</b>  | 1,3435                  | 33,3   | 896,50              |          |          |           | 0,0795   |

| <b>MUESTRA CARBÓN NATURAL</b> | <b>NÚMERO DE YODO</b> |
|-------------------------------|-----------------------|
| <b>CNP</b>                    | 1166                  |
| <b>CNG</b>                    | 829                   |

| PRUEBA 2 (350-450 °C): N ° DE YODO, PARA (CNP) Y (CNG) |                  |  |              |         |       |     |        |
|--|------------------|--|--------------|---------|-------|-----|--------|
| TIPO CARBÓN  | MASA CARBÓN (gr) | ml Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | X/M (mgr/gr) | A       | B     | DF  | C      |
| CNP  | 1,1642           | 36,4   | 113,03       | 1308,65 | 14,70 | 2,2 | 0,0843 |
| CNP  | 1,2565           | 35,1   | 138,19       |         |       |     | 0,0813 |
| CNP  | 1,4512           | 34,6   | 130,79       |         |       |     | 0,0801 |
| CNG  | 1,1230           | 36,5000  | 114,30       |         |       |     | 0,0845 |
| CNG  | 1,3250           | 36,1000  | 106,64       |         |       |     | 0,0836 |
| CNG  | 1,4521           | 35,4000  | 112,89       |         |       |     | 0,0820 |

| MUESTRA CARBÓN NATURAL | NÚMERO DE YODO |
|------------------------|----------------|
| CNP                    | 489            |
| CNG                    | 482            |



## A2.2.2 Carbón Activado Con Ácido Fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)

Nomenclatura para la sección A2.1.3

(CAP): Carbón Activado en Polvo, vía (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)

(CAG): Carbón Activado Granular, vía (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)

| EFICIENCIA CARBONIZACIÓN (CAP) Y (CAG) |                     |                  |                            |
|--|---------------------|------------------|----------------------------|
| TIPO CARBÓN                            | MASA PRECURSOR (gr) | MASA CARBÓN (gr) | EFICIENCIA CARBONIZACIÓN % |
| CAP                                    | 13,1455             | 4,8956           | 37,24%                     |
| CAP                                    | 16,5734             | 5,9863           | 36,12%                     |
| CAP                                    | 12,2236             | 4,5863           | 37,52%                     |
| CAG                                    | 13,0325             | 4,2556           | 32,65%                     |
| CAG                                    | 12,3551             | 4,2531           | 34,42%                     |
| CAG                                    | 13,3536             | 4,3512           | 32,58%                     |

| PRUEBA HUMEDAD CARBÓN ACTIVADO POLVO (CAP) Y GRANULAR (CAG) |                     |                  |             |
|---|---------------------|------------------|-------------|
| TIPO CARBÓN   | MASA PRECURSOR (gr) | MASA CARBÓN (gr) | HUMEDAD (%) |
| CAP   | 1,3526              | 1,2954           | 4,23%       |
| CAP   | 1,3425              | 1,2813           | 4,56%       |
| CAP   | 1,2965              | 1,2388           | 4,45%       |
| CAG   | 1,3564              | 1,2870           | 5,12%       |
| CAG   | 1,4595              | 1,3814           | 5,35%       |
| CAG   | 1,3575              | 1,2892           | 5,03%       |

| PRUEBA 1 (300-350 °C):: N ° DE YODO, PARA C. ACTIVAD CON H3PO4 |                  |            |              |         |       |     |        |
|--|------------------|------------|--------------|---------|-------|-----|--------|
| TIPO CARBÓN  | MASA CARBÓN (gr) | ml Na2S2O3 | X/M (mgr/gr) | A       | B     | DF  | C      |
| CAP  | 1,3235           | 25,1       | 1116,46      | 2313,81 | 15,14 | 2,2 | 0,0599 |
| CAP  | 1,2542           | 23,4       | 1223,30      |         |       |     | 0,0558 |
| CAP  | 1,2324           | 22,9       | 1258,46      |         |       |     | 0,0546 |
| CAG  | 1,3234           | 25,2       | 1114,02      |         |       |     | 0,0601 |
| CAG  | 1,3113           | 24,6       | 1139,55      |         |       |     | 0,0587 |
| CAG  | 1,2412           | 25,9       | 1169,01      |         |       |     | 0,0618 |

| MUESTRA CARBÓN ACTIVO | NÚMERO DE YODO |
|-----------------------|----------------|
| CAP                   | 1911           |
| CAG                   | 1279           |

| PRUEBA 2 (350-450 °C):: N ° DE YODO, PARA C. ACTIVAD CON H3PO4 |                  |            |              |         |       |     |        |
|--|------------------|------------|--------------|---------|-------|-----|--------|
| TIPO CARBÓN  | MASA CARBÓN (gr) | ml Na2S2O3 | X/M (mgr/gr) | A       | B     | DF  | C      |
| CAP  | 1,3125           | 35,4       | 124,90       | 1308,65 | 14,70 | 2,2 | 0,0820 |
| CAP  | 1,302            | 35,8       | 115,97       |         |       |     | 0,0829 |
| CAP  | 1,264            | 36,5       | 101,55       |         |       |     | 0,0845 |
| CAG  | 1,326            | 35,8       | 113,87       |         |       |     | 0,0829 |
| CAG  | 1,3128           | 36,1       | 107,63       |         |       |     | 0,0836 |
| CAG  | 1,2584           | 37,02      | 88,64        |         |       |     | 0,0857 |

| MUESTRA CARBÓN ACTIVO | NÚMERO DE YODO |
|-----------------------|----------------|
| CAP                   | 794            |
| CAG                   | 771            |

## A2.2.3 Carbón Activado Con Vapor de Agua

Nomenclatura para la sección A2.1.4

(CAP): Carbón Activado en Polvo, vía Vapor de Agua.

(CAG): Carbón Activado Granular, vía Vapor de Agua.

| TIPO CARBÓN | MASA INI (g) | MASA FIN (g) | EFICIENCIA ACTIVACIÓN | TIEMPO (min) | AGUA (g) | VAPOR (cm <sup>3</sup> /min) |
|-------------|--------------|--------------|-----------------------|--------------|----------|------------------------------|
| CAP         | 22,4521      | 22,0325      | 98,13%                | 30           | 407      | 14                           |
| CAG         | 24,2072      | 24,0002      | 99,14%                | 30           | 367      | 12                           |

| PRUEBA 1 (300-350 °C) : N ° DE YODO, PARA CARBÓN ACTIVADO CON VAPOR H2O |                  |    |   |              |         |       |     |        |
|---|------------------|----|---|--------------|---------|-------|-----|--------|
| TIPO CARBÓN   | MASA CARBÓN (gr) | ml | Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | X/M (mgr/gr) | A       | B     | DF  | C      |
| CAP   | 1,1424           |    | 35,2  | 149,16       | 1308,65 | 14,70 | 2,2 | 0,0815 |
| CAP   | 1,1217           |    | 35  | 157,68       |         |       |     | 0,0811 |
| CAP   | 1,0677           |    | 34,9  | 168,68       |         |       |     | 0,0808 |
| CAG   | 1,1405           |    | 38,5  | 55,84        |         |       |     | 0,0892 |
| CAG   | 1,1299           |    | 37,6  | 82,12        |         |       |     | 0,0871 |
| CAG   | 1,0209           |    | 37,4  | 97,22        |         |       |     | 0,0866 |

| MUESTRA CARBÓN ACTIVO | NÚMERO DE YODO |
|-----------------------|----------------|
| CAP                   | 1566           |
| CAG                   | 937            |

| PRUEBA 2 (350 a 450 °C): N ° DE YODO, PARA CARBÓN ACTIVADO CON VAPOR H2O |                  |    |   |              |   |   |    |        |
|--|------------------|----|---|--------------|---|---|----|--------|
| TIPO CARBÓN  | MASA CARBÓN (gr) | ml | Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | X/M (mgr/gr) | A | B | DF | C      |
| CAP  | 1,3125           |    | 35,6  | 119,97       |   |   |    | 0,0824 |
| CAP  | 1,302            |    | 34,5  | 148,26       |   |   |    | 0,0799 |
| CAP  | 1,264            |    | 35,8  | 119,46       |   |   |    | 0,0829 |
| CAG  | 1,326            |    | 34,9  | 135,82       |   |   |    | 0,0808 |
| CAG  | 1,3128           |    | 35,7  | 117,48       |   |   |    | 0,0827 |
| CAG  | 1,2584           |    | 35,7  | 122,56       |   |   |    | 0,0827 |

| <b>MUESTRA CARBÓN ACTIVO</b> | <b>NÚMERO DE YODO</b> |
|------------------------------|-----------------------|
| <b>CAP</b>                   | 858                   |
| <b>CAG</b>                   | 725                   |

## A2.2.4 Resultados Pruebas Índice de Azul de Metileno

**Tabla 1.**

| Muestra       | Longitud de Onda Medida | Absorbancia | Concentración Inicial Azul de Metileno (mg/l) | Concentración Final Azul de Metileno (mg/l) | Índice de Azul de Metileno (mg/g) |
|---------------|-------------------------|-------------|---|---|-----------------------------------|
| CNP           | 650                     | 0,031       | 12  | 0,0087                                      | 11,66                             |
| CNG           | 650                     | 0,102       | 12  | 0,0292                                      | 11,83                             |
| CAC           | 650                     | 0,095       | 12  | 0,0259                                      | 9,57                              |
| CAP (Química) | 650                     | 0,157       | 12  | 0,0748                                      | 9,49                              |
| CAG (Química) | 650                     | 0,254       | 12  | 0,3930                                      | 11,33                             |
| CAP (Física)  | 650                     | 0,147       | 12  | 0,0630                                      | 11,90                             |
| CAG (Física)  | 650                     | 0,313       | 12  | 1,0782                                      | 10,89                             |

**Tabla 2.**

| Muestra       | Longitud de Onda Medida | Absorbancia | Concentración Inicial Azul de Metileno (mg/l) | Concentración Final Azul de Metileno (mg/l) | Índice de Azul de Metileno (mg/g) |
|---------------|-------------------------|-------------|---|---|-----------------------------------|
| CNP           | 650                     | 0,035       | 12  | 0,0093                                      | 11,66                             |
| CNG           | 650                     | 0,11        | 12  | 0,0335                                      | 11,82                             |
| CC            | 650                     | 0,092       | 12  | 0,0246                                      | 9,57                              |
| CAP (Química) | 650                     | 0,156       | 12  | 0,0735                                      | 9,49                              |
| CAG (Química) | 650                     | 0,25        | 12  | 0,3670                                      | 11,35                             |
| CAP (Física)  | 650                     | 0,15        | 12  | 0,0663                                      | 11,90                             |
| CAG (Física)  | 650                     | 0,33        | 12  | 1,4420                                      | 10,53                             |

## A2.3 Metodologías Implementadas

### A2.3.1 Relación Entre Cáscara – Fruto de Cáscaras de Nuez

#### Metodología

#### A. Limpieza y pesado de muestras de nueces:

- Recolección de muestras de nueces enteras de zonas de explotación industrial, 1 Kg. aproximadamente.
- Lavar y cepillar con un cepillo de metal las nueces enteras para que no hayan rastros de suciedad.
- Tomar una muestra aleatoria de nueces enteras lavadas y separa en tres partes, para esto se procede a romper las nueces lavadas y separar el fruto de la cáscara y de los filamentos.
- Determinar la relación de masa entre cáscara - fruto y filamento – fruto, se realiza en balanza analítica. Primero se toma la cáscara separada del fruto y filamento y se pesa, siguiendo con el fruto y los filamentos internos, obteniendo la relación buscada anteriormente señalada.

#### Ecuaciones

$$R_1 = \left[ \frac{\text{Masa total cáscaras sin Fruto}}{\text{Masa inicial nueces}} \right] \cdot 100 \quad \text{ecu. A2.1}$$

$$R_2 = \left[ \frac{\text{Masa total Estructuras sin Fruto}}{\text{Masa inicial nueces}} \right] \cdot 100$$

ecu. A2.2

### Materiales

- Balanza Analítica
- Cepillo de metal
- 6 Crisoles con tapa
- Estufa
- Mortero
- Desecadora

## A2.3.2 Determinación de Humedad de Diferentes Especies

### A. Secado de muestras de cáscaras y del carbón activado obtenido:

#### Cáscaras

- Tomar tres muestras pesadas de cáscaras de nueces.
- Moler las muestras de cáscaras hasta un tamaño de 2 cm. aproximadamente, la molienda se realiza en un mortero hasta alcanzar el tamaño requerido.
- Colocar las distintas muestras en crisoles previamente tarados, procediendo así a pesar en balanza analítica las distintas cantidades de muestra de cáscara presentes en cada crisol.
- Pesar muestras molidas en crisoles previamente tarados y colocar en estufa a 105 ° C hasta que las masas de los distintos crisoles se mantenga constante, normalmente 4 horas es tiempo suficiente para quitar todos los remanentes de agua de la cáscara. Cada pesada se debe hacer con los crisoles a temperatura ambiental para que la balanza analítica no de valores erróneos por causa de las fuerzas convectivas producidas por la temperatura de los crisoles en la estufa, para esto, se colocan las muestras calientes de la estufa en una cámara de vacío para disminuir su temperatura y quitar la humedad, repitiendo el procedimiento hasta que la masa se mantenga igual en cada crisol como se señalo anteriormente.
- Determinar el porcentaje de humedad de las muestras de cáscaras.



Ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \left[ \frac{\text{Agua contenida promedio}}{\text{Masa cáscaras inicial}} \right] \cdot 100 \quad \text{ecu. A2.3}$$

Carbón Activo y No Activo (Se debe contar con ambos Carbones):

- Tomar tres muestras de Carbón Activo y No Activo de Cáscaras de Nuez.
- Secar la muestra de carbón activado durante 1 hora a 140° C en la estufa y pesar las muestras.
- Verificar después de la hora la masa de las muestras y repetir el segundo punto hasta que la masa de carbón se mantenga constante.

La humedad libre o externa, es la existencia en la superficie del carbón y en los intersticios entre las partículas, y es la contribución hecha por las aguas que se agregan en el lavado y supresión del polvo.

La determinación del porcentaje de humedad del Carbón Activo muestra la cantidad de agua contenida en este.

Ecuación

$$\% \text{ Humedad} = \left[ \frac{\text{Agua contenida promedio}}{\text{Masa inicial carbón}} \right] \cdot 100 \quad \text{ecu. A2.4}$$

## Materiales

- Balanza Analítica
- Cepillo de metal
- 6 Crisoles con tapa
- Estufa
- Mortero*
- Desecadora*

### A2.3.3 Eficiencia de los Carbones Producidos de Cáscaras de Nuez.

#### Metodología

#### A. Pirolisis de las muestras de cáscaras de nuez:

- Tomar tres muestras de cáscaras y colocarlas en crisoles previamente tarados.
- Pesar las muestras en balanza analítica y determinar la masa de muestra que se tomó en el punto anterior.
- Llevar las muestras con tapa a la mufla y poner el set point en 300 ° C, una vez alcanzada la temperatura dejar por media hora, y después apagar la fuente de poder de la mufla, dejar enfriar media hora y llevar a la desecadora, hasta alcanzar temperatura ambiental.
- Pesar las muestras carbonizadas en balanza analítica y determinar la eficiencia.

#### Ecuación

$$E_1 = \left[ \frac{\text{Masa Carbón Obtenida}}{\text{Masa Inicial Cáscaras}} \right] \cdot 100 \quad \text{ecu. A2.5}$$

**B. Tamizado del carbón obtenido del proceso anterior:**

- Tomar tres muestras de carbón Separar las muestras obtenidas de carbón en dos grupos de tres muestras cada una para las cáscaras.
- Molienda de CAP y CAG para cada grupo de cáscaras.

#### **A2.3.4 Aplicación Número de Yodo: Norma ASTM D4607.**

Metodología:

- El procedimiento es aplicable tanto para carbón en polvo, como para carbón granular. Para ambos tipos de carbones, 60 % debe pasar por malla de 325 mesh y 95 % por malla de 100 mesh. Secar el carbón según el Método D 2867 y enfriar en desecador.
- La determinación del número de yodo requiere de tres muestras de carbón. Una vez determinadas las masas de las muestras de carbón, transferir a un erlenmeyer de 250 ml.
- Pipetear 10 ml de HCl 5 % en peso dentro del frasco que contiene el carbón. Agitar suavemente, mientras el carbón queda completamente mojado. Hervir la solución durante 30 segundos, para eliminar los sulfuros, que interviene en los resultados y dejar enfriar a temperatura ambiente.
- Pipetear 100 ml de la solución de yodo 0.1 N en el erlenmeyer, agitar el contenido vigorosamente durante 30 segundos. Rápidamente filtrar la mezcla.
- En vasos precipitados recibir la solución remanente del filtrado y pipetear 50 ml de este filtrado en un erlenmeyer de 250 ml.
- Titular este filtrado con la solución estandarizada de tiosulfato 0.1 N, y agregar unas gotas de indicador almidón. Anotar el volumen gastado de tiosulfato.

Materiales:

- Balanza Analítica, precisión  $\pm 0.0001$  gr.
- Bureta, 10 ml
- Frasco Erlenmeyer, 250 ml
- Vasos Precipitados de varios tamaños
- Botella de color ámbar, para almacenar las soluciones de yodo y tiosulfato
- Embudo, 100 mm diámetro interno
- Papel Filtro, Whatman N° 2V o equivalente
- Pipetas, 5, 10, 25, 50 y 100 ml
- Matraz de aforo, 1 lt
- Probetas, 100 y 500 ml

Reactivos:

- Ácido Clorhídrico, concentrado
- Tiosulfato de Sodio, ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )
- Yodo, cristales
- Yoduro de Potasio, (KI)
- Almidón

Preparación de Soluciones:

- Solución de Acido Clorhídrico (5% en peso): Agregar 70 ml de ácido clorhídrico concentrado a 550 ml de agua destilada y mezclar bien. Traspasar a un matraz de 1 lt y aforar.

- ☑ Solución de Tiosulfato de Sodio (0.1 N): Disolver 25 gr de tiosulfato de sodio en aproximadamente 75 ml de agua destilada recién hervida. Transferir la mezcla a matraz de 1 lt y aforar. Almacenar en una botella ámbar.
- ☑ Solución Estándar de Yodo (0.1 N): Pesar 12.7 gr de yodo y 19.5 gr de KI. Mezclar el yodo con el KI con unos 50 ml de agua destilada y mantener con agitación mecánica durante aproximadamente 1 hr. Luego reposar la solución unas 4 hr, hasta que todos los cristales están disueltos. Traspasar a matraz de 1 lt y aforar con agua destilada. Almacenar en botella ámbar.
- ☑ Solución de Almidón: Mezclar 1 gr de almidón con 5 a 10 ml de agua fría y formar una pasta. Agregar 100 ml de agua recién hervida, mezclar y dejar hervir por unos 2 minutos.

Estandarización de Soluciones:

- ☑ Estandarización de Tiosulfato de Sodio 0.1 N: Pesar 0.2 a 0.23 gr de  $K_2Cr_2O_7$ . Pesar 2 gr de KI, disolverlos en 80 ml de agua y agregar esta mezcla al  $K_2Cr_2O_7$ . Finalmente, agregar 20 ml de HCl 1 N. Agregar unas gotas de almidón como indicador y titular esta solución con la solución de Tiosulfato de Sodio. Anotar el volumen gastado en la titulación.
- ☑ Determinar la normalidad de Tiosulfato de Sodio:

$$N_1 = \frac{gr K_2Cr_2O_7 * 1000}{ml Na_2S_2O_3 * 49.032}$$

ecu. A2.6

- Estandarización de Solución de Yodo 0.1 N: Pipetear 25 ml de solución de yodo en Erlenmeyer de 250ml. Agregar unas gotas del indicador almidón y titular con la solución de tiosulfato de sodio. Anotar el volumen de tiosulfato gastado.
- Determinar la normalidad de Yodo:

$$N_2 = \frac{ml Na_2S_2O_3 * N_1}{ml I_2} \quad \text{ecu. A2.7}$$

Ecuaciones Método Número de Yodo:

- La capacidad de un carbón para adsorber es independiente de la concentración del adsorbente en solución. La cantidad de muestra de carbón usada en la determinación es gobernada por la actividad del carbón.
- Para determinar el número de yodo, es necesario realizar dos cálculos para cada muestra de carbón, X/M y C.
- Para obtener el valor de X/M, primero determinar los siguientes valores:

$$A = (N_2)(12693)$$

$$B = (N_1)(126.93) \quad \text{ecu. A2.8}$$

$$DF = \frac{(ml I_2 + ml HCl)}{ml filtrado} \quad \text{ecu. A2.9}$$



Donde  $DF$  es un factor de dilución

Ahora, calcular el valor de  $X/M$ :

$$X / M = \frac{A - (DF)(B)(ml Na_2S_2O_3)}{M} \quad \text{ecu. A2.10}$$

Donde  $M$  es el carbón usado en gramos y  $(X/M)$  es el yodo adsorbido por gramo de carbón en mg (de yodo) / gr (de carbón)

Cálculo del valor de  $C$ :

$$C = \frac{(N_1)(ml Na_2S_2O_3)}{ml \text{ filtrado}} \quad \text{ecu. A2.11}$$

Finalmente, graficar  $X/M$  (eje  $Y$ ) versus  $C$  (eje  $X$ ) para cada una de las tres muestras de carbón. Calcular un ajuste de mínimos cuadrados para los tres puntos y graficar. El número de yodo es el valor de  $X/M$  a la concentración residual de yodo ( $C$ ) de 0.02 N.

La dosis de carbón puede ser estimada de la siguiente manera:

$$M = \frac{A - (DF)(C)(126.93)(50)}{E} \quad \text{ecu. A2.12}$$

Donde  $E$  es el número de yodo estimado

Las tres muestras de carbón son calculadas usando tres valores de  $C$  (usualmente 0.01, 0.02 y 0.03).

### A2.3.5 Aplicación Índice de Azul de Metileno

#### Metodología:

- Moler carbón activado, para que 95% pase por malla de 325 mesh.
- Realizar una curva de barrido en el espectrofotómetro.
- Situar la longitud de onda en el valor correspondiente según el barrido realizado anteriormente y realizar la curva de calibración. Graficar esta curva y calcular la pendiente de la regresión lineal.
- Pesar 1 gr de polvo seco de carbón en un vaso de 100 ml y agregar 50 ml de la solución de azul de metileno de 1 mg/lit y agitar mecánicamente por 30 min.
- Filtrar y guardar los primeros 5 ml de filtrado. Medir la adsorbancia del filtrado. A partir de esta adsorbancia es posible obtener la concentración del filtrado.

#### Materiales:

- Balanza Analítica
- Papel Filtro Whatman N° 44 o similar
- Espectrofotómetro
- Matraces de Aforo

Reactivos:

- Ácido Acético Glacial
- Azul de Metileno ( en polvo)

Preparación de Soluciones:

- Acido Acético 0.25 %: Agregar 2.5 ml de Acido Acético Glacial a 900 ml de agua destilada. Traspasar a matraz de 1 lt y aforar.
- Solución Estándar de Azul de Metileno (1200 mg/lt): Pesar 1.2 gr de azul de metileno (previamente secado y enfriado en desecador). Disolver en 100ml de Acido Acético 50 %. Diluir en 12 lt de agua destilada.
- Solución de Azul de Metileno (120 mg/lt): Preparar esta solución por dilución 1:10 con ácido acético de 0.25 %, a partir de la solución de azul de metileno de 1200 mg/lt, en un matraz de 100 ml.
- Pipetear 10, 8, 5 y 3 ml de azul de metileno de 120 mg/lt en matraces de 100 ml y aforar con ácido acético 0.25 %.

### A2.3.6 Ensayos y Pruebas en Minicolumnas

#### Metodología:

- Verificar antes de empezar con el proceso de montaje, que la solución de aurocianuro esté a un pH de 10,5 ó más básico, por lo tanto medir el pH bajo campana y usando mascarilla para no contaminarse con gases de cianuro que puedan volatizarse.
- Se debe llenar tres buretas con tres especies de material, previo lavado con agua destilada para sacar impurezas de las buretas. La primera bureta se debe llenar con Cáscaras de Nueces a tamaño granular, la segunda con Carbón Natural de Cáscaras de Nueces a tamaño granular y la tercera con Carbón Activo de Cáscaras de Nueces a Tamaño granular. Se deben llenar a 35 ml, con cada material.
- Se debe hacer el montaje de las buretas ocupando las tres bombas peristálticas disponibles a su flujo mínimo. Se ponen las buretas con el material dentro en tres pedestales, donde la parte inferior de cada bureta vaciará la solución que pase a través del lecho de material en un vaso precipitado de 1000 ml, donde de este último se tomara la solución succionándola con la bomba y descargándola en la parte superior de la bureta por donde irá mojando el lecho, para dar termino al circuito cerrado de experimentación.
- Se debe ajustar el montaje con huincha de embalaje para que todos los materiales queden fijos y no se muevan producto de la impulsión de solución de la bomba peristáltica. Se debe colocar 200 ml de solución

mínimo en cada frasco de 1000ml, para asegurar una succión constante de solución de aurocianuro.

- Verificar que el montaje este en un estado seguro, hacer andar las bombas a su mínimo flujo durante 12 horas continuas.
- Apagar las bombas después de las 12 horas de riego, desmontar las buretas y limpiarlas.
- Tomar la solución agotada, que queda en el vaso precipitado de 1000 ml, y trasvasiar a un frasco con tapa, para su posterior análisis de Cu y Au.
- Repetir el procedimiento para el mismo material pero a tamaño polvo.

*Materiales:*

- 3 buretas precipitadas de 50 ml.
- 3 vasos precipitados de 1000 ml.
- 3 bombas peristálticas con mangueras de succión y descarga.
- Uso de campana, lentes, mascarilla, guantes y huincha aislante plástica.

*Reactivos:*

- Solución de aurocianuro de concentración 1 a 5 ppm, a ph básico mayor o igual a 10,5.
- Carbón Natural y Activado de Cáscaras de Nueces, Carbón Activo Comercial y Cáscaras de Nueces, todo en dos tipos de tamaño: granular y en polvo.

Posibles Modelos Cinéticos Empíricos en las Pruebas de Adsorción de oro en las muestras de carbón activado:

- Modelo de Primer Orden:**  $r = K_1 \cdot C - K_2 \cdot q$  ecu. A2.13
- Modelo de Dixon:**  $r = K_3 \cdot C \cdot (q^{\wedge} - q) - K_4 \cdot q$  ecu. A2.14
- Modelo de Nicol:**  $r = K_5 \cdot (K \cdot C - q)$  ecu. A2.15
- Modelo de Fleming:**  $q = K_6 \cdot C_0 \cdot t^n$  ecu. A2.16
- Modelo de La Brooy:**  $q = K_7 \cdot C \cdot t^n$  ecu. A2.17

Con:

r: Velocidad de adsorción de oro (mg / s·l).

C: Concentración de oro en solución (mg / l).

q: Masa de oro en el carbón (mg / kg.).

t: Tiempo transcurrido desde el inicio de la experiencia batch (s).

Co: Conc. Inicial de oro en solución (mg / l).

q+ : Carga máxima del carbón. (mg /kg.)

k1.. k7, K, n : Constantes características.

- ☑ **Modelo de primer orden:** El modelo de primer orden está dado por la ecuación 1.4 (a). La ecuación fue linealizada mediante la gráfica  $r/q$  vs  $q/C$  y los resultados experimentales se ajustaron por regresión lineal. La pendiente de la recta resultante equivale a la constante  $k_2$ , mientras que el coeficiente de posición de la recta sería equivalente a la constante  $k_1$ .
- ☑ **Modelo de Dixon:** El modelo de Dixon esta dado por la ecuación 1.4 (b). La ecuación fue linealizada mediante la gráfica  $r/q$  vs  $C(q'-q)/q$  y los resultados experimentales se ajustaron por regresión lineal. La pendiente de la recta resultante equivale a la constante  $k_3$ , mientras que el coeficiente de posición de la recta seria equivalente a la constante  $k_4$ .
- ☑ **Modelo de Nicol:** El modelo de Nicol está dado por la ecuación 1.4 (c). La ecuación fue linealizada mediante la gráfica  $r/q$  v/s  $C/q$  y los resultados experimentales se ajustaron por regresión lineal. La pendiente de la recta resultante equivale a la constante  $k_5 \cdot K$ , mientras que el coeficiente de posición de la recta sería equivalente a la constante  $k_5$ .
- ☑ **Modelo de Fleming:** El modelo de Fleming está dado por la ecuación 1.4 (d). La ecuación fue linealizada mediante la gráfica  $\log(q)$  vs  $\log(t)$ , y los resultados experimentales se ajustaron por regresión lineal. La pendiente de la recta resultante equivale a la constante  $n$ , mientras que el coeficiente de posición de la recta sería equivalente a  $\log(k_6 + C_0)$ .
- ☑ **Modelo de La Brooy:** El modelo de La Brooy esta dado por la ecuación 1.4 (e). La ecuación fue linealizada mediante la gráfica  $\log(q/C)$  vs  $\log(t)$ , y los resultados experimentales se ajustaron por regresión lineal. La pendiente de la recta resultante equivale a la constante  $n$ , mientras que el coeficiente de posición de la recta sería equivalente a  $\log(k_7)$ .

## A2.4 Fotos de Laboratorio

- Fotos del Laboratorio (**Cáscaras de Nueces, Molida y Trituradas**)



**Figura A2.1 – (Cáscaras de Nueces)**



**Figura A2.2 – (Cáscaras de Nueces)**



**Figura A2.3 – (Cáscaras Molidas)**



**Figura A2.4 – (Cáscaras CAP)**



**Figura A2.5 – (Cáscaras CAG)**



- Fotos del Laboratorio (**Carbón Activado de Cáscaras Nueces Obtenido**)



Figura A2.6 – (Carbón)



Figura A2.7 – (Carbón CAP - CAG)



Figura A2.8 – (Carbón CAP - CAG)

- Fotos del Laboratorio (**Equipos Usados en Molienda, Pirolisis, Activación**)



**Figura A2.9 – (Crisoles)**



**Figura A2.10 – (Mufia)**



**Figura A2.11 – (Estufa)**



**Figura A2.12 – (Sistema de Molienda)**



**Figura A2.13 – (Termocupla)**



**Figura A2.14 – (Balanza Analítica)**

- Fotos del Laboratorio (**Equipos de Pirolisis y Activación Física**)



Figura A2.15 – (Equipo Vista Frontal)



Figura A2.16 – (Equipo Vista Lateral)



Figura A2.17 – (Mechero)



Figura A2.18 – (Calefactor)



**Figura A2.19 – (Tapa Vista Lateral)**



**Figura A2.20 – (Bomba)**



**Figura A2.21 – (Equipo Generador de Vapor)**



**Figura A2.22 – (Tapa Vista Inferior)**

- Fotos del Laboratorio (**Pruebas de Absorción**)



Figura A2.23 – (Montaje Minicolumna)



Figura A2.24 – (Vista Superior Minicolumna)



Figura A2.25 – (Montaje en Serie)



Figura A2.26 – (Bomba Peristaltica)



**Figura A2.7 – (Montaje en Serie de tres minicolumnas)**

## A2.4 Bibliografía

### - Personas Consultadas:

1. Cecilia Vidal Cruz. “Investigadora de Proyectos – Programa de Tecnologías Ambientales / Medio Ambiente”, FUNDACION CHILE. Fono: 2 – 2400596, E-mail: [cvidal@fundacionchile.cl](mailto:cvidal@fundacionchile.cl) ; “Pruebas de Oxidación con Peróxido de Hidrógeno al 50% y Precipitación de Metales (As) en Efluentes Mineros Provenientes de Plantas de Ácido”
2. Juan Carlos López “Jefe de Ingenieros y Proyecto – Programa de Tecnologías Ambientales / Medio Ambiente”, FUNDACION CHILE. Fono: 2 – 2400596, E-mail: [jclopez@fundacionchile.cl](mailto:jclopez@fundacionchile.cl) ; “Caracterización, Secado y Pirolisis de Cañas de Bambú - Pruebas de Activación del Carbón de Cañas de Bambú”

### - Bibliografía Consultadas

3. Hassler, W.1963. Activated Carbon, New York, Chemical Publishing, p. 19 – 39.
4. Santiago Alonso Cardona Gallo. Ph.D. M.Sc. Ingeniería Ambiental. “Reutilización y Activación del Coque de Petróleo para Remover Metales en Agua”.
5. Sitio Web: <http://usuarios.lycos.es/activatedcarbon>. 2005 Activated Carbon From Coconut. Sitio Web: [olavan@yahoo.com](mailto:olavan@yahoo.com).

6. Sitio Web: [http://www.serbi.luz.edu.ve/pdf/cien/v12n1/art\\_06.pdf](http://www.serbi.luz.edu.ve/pdf/cien/v12n1/art_06.pdf). Carmen Sarmiento\*, Jorge Sánchez, César García, Yolanda Benítez y Jorge Ramírez. Preparación de carbón activado mediante la activación química de carbón mineral. 2005.



***ANEXO III***  
***- Estudio Legal -***

## **A3.1 Estudio Legal**

### **A3.1.1 Consideraciones Evaluación de Impacto Ambiental**

1. TITULO II: DE LA GENERACIÓN O PRESENCIA DE EFECTOS, CARACTERÍSTICAS O CIRCUNSTANCIAS QUE DEFINEN LA PERTINENCIA DE PRESENTAR UN ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.

**Artículo 5.-** El titular deberá presentar un Estudio de Impacto Ambiental si su proyecto o actividad genera o presenta riesgo para la salud de la población, debido a la cantidad y calidad de los efluentes, emisiones o residuos que genera o produce. A objeto de evaluar si se genera o presenta el riesgo a que se refiere el inciso anterior, se considerará:

**a.** Lo establecido en las normas primarias de calidad ambiental y de emisión vigentes. A falta de tales normas, se utilizarán como referencia las vigentes en los Estados que se señalan en el artículo 7 del presente Reglamento;

**b.** La composición, peligrosidad, cantidad y concentración de los efluentes líquidos y de las emisiones a la atmósfera;

**c.** La frecuencia, duración y lugar de las descargas de efluentes líquidos y de emisiones a la atmósfera;

**d.** La composición, peligrosidad y cantidad de residuos sólidos;

**e.** La frecuencia, duración y lugar del manejo de residuos sólidos;

- f. La diferencia entre los niveles estimados de inmisión de ruido con proyecto o actividad y el nivel de ruido de fondo representativo y característico del entorno donde exista población humana permanente;
- g. Las formas de energía, radiación o vibraciones generadas por el proyecto o actividad;
- h. Los efectos de la combinación y/o interacción conocida de los contaminantes emitidos o generados por el proyecto o actividad.

**Artículo 6.-** El titular deberá presentar un Estudio de Impacto Ambiental si su proyecto o actividad genera o presenta efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua y aire.

**Artículo 8.-** El titular deberá presentar un Estudio de Impacto Ambiental si su proyecto o actividad genera reasentamiento de comunidades humanas o alteración significativa de los sistemas de vida y costumbres de grupos humanos.

**Artículo 9.-** El titular deberá presentar un Estudio de Impacto Ambiental si su proyecto o actividad se localiza próximo a población, recursos y áreas protegidas susceptibles de ser afectados, así como el valor ambiental del territorio en que se pretende emplazar.

**Artículo 11.-** El titular deberá presentar un Estudio de Impacto Ambiental si su proyecto o actividad genera o presenta alteración de monumentos, sitios con valor antropológico, arqueológico, histórico y, en general, los pertenecientes al patrimonio cultural.

2. TÍTULO III: PÁRRAFO 2º DE LAS DECLARACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL.

**Artículo 14.-** Las Declaraciones de Impacto Ambiental deberán presentarse bajo la forma de una declaración jurada, en la cual se expresará que se cumple con la legislación ambiental vigente, acompañando todos los antecedentes que permitan al órgano competente evaluar si su impacto ambiental se ajusta a las normas ambientales vigentes.

**Artículo 15.-** Las Declaraciones de Impacto Ambiental deberán contener, a lo menos, lo siguiente:

**a.** La indicación del tipo de proyecto o actividad de que se trata, indicando su nombre; la identificación del titular y su sociedad matriz, si la hubiere; su objetivo; su localización según coordenadas geográficas y según división político-administrativa a nivel regional, provincial y comunal; el monto estimado de la inversión; la superficie que comprenderá y la justificación de su localización.

**b.** La descripción del proyecto o actividad que se pretende realizar o de las modificaciones que se le introducirán, definiendo las partes, acciones y obras físicas que lo componen; su vida útil; el plazo estimado de inicio de la ejecución o modificación del proyecto o actividad; y la descripción cronológica de sus distintas fases.

**c.** La indicación de los antecedentes necesarios para determinar si el impacto ambiental que generará o presentará el proyecto o actividad se ajusta a las normas ambientales vigentes, y que éste no requiere de la presentación de un Estudio de Impacto Ambiental, de acuerdo a lo dispuesto en la Ley y en el presente Reglamento.

d. La descripción del contenido de aquellos compromisos ambientales voluntarios, no exigidos por la legislación vigente, que el titular del proyecto o actividad contemple realizar.

**Artículo 16.-** La Declaración de Impacto Ambiental que presente el titular del proyecto o actividad, deberá acompañarse de la documentación y los antecedentes necesarios para acreditar el cumplimiento de la normativa de carácter ambiental y de los requisitos y contenidos de los permisos ambientales sectoriales contemplados en los artículos del Título VII de este Reglamento. Dicha Declaración deberá acompañarse de una reproducción en medios magnéticos o electrónicos, a excepción de aquellos documentos o piezas que por su naturaleza u origen no sea posible presentarlos en dichos medios. Tratándose de una modificación a un proyecto o actividad en ejecución, los antecedentes presentados que se señalan en las letras del artículo anterior, deberán considerar la situación del proyecto o actividad, y su medio ambiente, previa a su modificación.

### **A3.1.2 Código Sanitario**

CÓDIGO SANITARIO / DECRETO CON FUERZA DE LEY N° 725 / LIBRO TERCERO / DE LA HIGIENE Y SEGURIDAD DEL AMBIENTE Y DE LOS LUGARES DE TRABAJO

1. TÍTULO I: NORMAS GENERALES.

**Art. 67.** Corresponde al Servicio Nacional de Salud velar porque se eliminen o controlen todos los factores, elementos o agentes del medio ambiente que

afecten la salud, la seguridad y el bienestar de los habitantes en conformidad a las disposiciones del presente Código y sus reglamentos.

**Art. 73.** Prohíbese descargar las aguas servidas y los residuos industriales o mineros en ríos o lagunas, o en cualquier otra fuente o masa de agua que sirva para proporcionar agua potable a alguna población, para riego o para balneario, sin que antes se proceda a su depuración en la forma que se señale en los reglamentos.

**Párrafo III:** De los desperdicios y basuras:

**Art. 78.** El reglamento fijará las condiciones de saneamiento y seguridad relativas a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios.

**Art. 79.** Para proceder a la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier planta de tratamiento de basuras y desperdicios de cualquier clase, será necesaria la aprobación previa del proyecto por el Servicio Nacional de Salud.

**Art. 80.** Corresponde al Servicio Nacional de Salud autorizar la instalación y vigilar el funcionamiento de todo lugar destinado a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios de cualquier clase. Al otorgar esta autorización, el Servicio Nacional de Salud determinará las condiciones sanitarias y de seguridad que deben cumplirse para evitar molestia o peligro para la salud de la comunidad o del personal que trabaje en estas faenas.

**Art. 81.** Los vehículos y sistemas de transporte de materiales que, a juicio del Servicio Nacional de Salud, puedan significar un peligro o molestia a la población y los de transporte de basuras y desperdicios de cualquier naturaleza, deberán reunir los requisitos que señale dicho Servicio, el que, además, ejercerá vigilancia sanitaria sobre ellos.

## 2. **TÍTULO IV: DE OTROS FACTORES DE RIESGOS, DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y DE LOS RUIDOS Y VIBRACIONES**

**Art. 89.** El reglamento comprenderá normas como las que se refieren a:

**a.** La conservación y pureza del aire y evitar en él la presencia de materias u olores que constituyan una amenaza para la salud, seguridad o bienestar del hombre o que tengan influencia desfavorable sobre el uso y goce de los bienes. La reglamentación determinará, además, los casos y condiciones en que podrá ser prohibida o controlada la emisión a la atmósfera de dichas sustancias;

**b.** La protección de la salud, seguridad y bienestar de los ocupantes de edificios o locales de cualquier naturaleza, del vecindario y de la población en general, así como la de los animales domésticos y de los bienes, contra los perjuicios, peligros e inconvenientes de carácter mental o material que provengan de la producción de ruidos, vibraciones o trepidaciones molestos, cualquiera que sea su origen.

## **A3.2 Estudio Breve de Impacto Ambiental**

El artículo 11 de la Ley 19.300 sobre Bases del Medio Ambiente indica que los proyectos o actividades enumerados en el artículo 10 de esta Ley requerirán la elaboración de un Estudio de Impacto Ambiental (E.I.A.), si generan o presentan a lo menos uno de los siguientes efectos, características o circunstancias:

- a.** Riesgo para la salud de la población, debido a la cantidad y calidad de efluentes, emisiones o residuos.
- b.** Efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua y aire.
- c.** Reasentamiento de comunidades humanas, o alteración significativa de los sistemas de vida y costumbres de grupos humanos.
- d.** Localización próxima a población, recursos y áreas protegidas susceptibles de ser afectados, así como el valor ambiental del territorio en que se pretende emplazar
- e.** Alteración significativa, en términos de magnitud o duración, del valor paisajístico o turístico de una zona.
- f.** Alteración de monumentos, sitios con valor antropológico, arqueológico, histórico y, en general, los pertenecientes al patrimonio cultural.

Para los efectos de evaluar el riesgo indicado en la letra a) y los efectos adversos señalados en la letra b), señala la Ley, se considerará lo establecido en las normas de calidad ambiental y de emisión vigentes. A falta de tales normas, acota el Reglamento, se utilizarán como referencia las de la Confederación Suiza. El Título II del D.S. N°30 de 1997 del Min. Sec. Gr al. de la Presidencia, que corresponde al



Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (S.E.I.A.), precisa y acota sobre la generación o presencia de efectos, características o circunstancias que definen la pertinencia de presentar un E.I.A. El Artículo 4 del Reglamento señala que el titular de un proyecto o actividad de los comprendidos en el artículo 3 del Reglamento o aquel que se acoja voluntariamente al S.E.I.A., deberá presentar una Declaración de Impacto

Ambiental (D.I.A.), salvo que dicho proyecto o actividad genere o presente alguno de los efectos, características o circunstancias contemplados en el artículo 11 de la Ley y en los artículos 5 al 11 del Reglamento, en cuyo caso deberá presentar un E.I.A. Aquellos proyectos o actividades no comprendidos en el artículo 3 de este Reglamento, y que sus titulares hayan decidido acogerse voluntariamente al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, quedarán sujetos a lo dispuesto en este Título, a objeto de definir la pertinencia de presentar un Estudio o una Declaración.

### A3.3 Legislación Ambiental

La legislación medio ambiental para este proyecto se basa en las siguientes regulaciones:

Ley 19.300: “Bases Generales del Medio Ambiente” de 1994 y D.S. N°95 de 2001, Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. De acuerdo a esta ley, la letra h, más específicamente h.2., del artículo 3 del título I afectaría al proyecto bajo las condiciones que se especifican en la letra siguiente:

k) *Instalaciones fabriles, tales como metalúrgicas, químicas, textiles, productoras de materiales para la construcción, de equipos y productos metálicos y curtiembres, de dimensiones industriales. Se entenderá que estos proyectos o actividades son de dimensiones industriales cuando se trate de:*

1. *Instalaciones fabriles cuya potencia instalada sea igual o superior a dos mil kilovoltios – Ampere (2.000 KVA), determinada por la suma de las capacidades de los transformadores de un establecimiento industrial. Tratándose de instalaciones fabriles en que se utilice más de un tipo de energía y/o combustibles, el límite de dos mil kilovoltios-ampere (2.000 KVA) considerará la suma equivalente de los distintos tipos de energía y/o combustibles utilizados.* En el caso de que corresponda someterse a SEIA se debe tener en consideración lo detallado en el **Anexo 3**. Para determinar la potencia instalada se utiliza la siguiente fórmula:

2.  $P \text{ (KW)} / FP = S \text{ (KVA)}$ , donde FP representa el factor de potencia. Se tomará como factor de potencia 0,8. Se tiene que la potencia instalada es de 58,1 KW. Por lo tanto en KVA, la potencia es de 72,6 KVA.

**Regulaciones para emisiones atmosféricas fijas.** Cualquier persona jurídica o natural responsable de establecimientos que tengan emisiones atmosféricas de fuentes fijas deben cumplir con las siguientes regulaciones:

1. Las calderas de calefacción e industriales deben tener autorización sanitaria así como su operador (Decreto Supremo N° 48/1984; 144/1961).
2. No emitir humos visibles por más de 15 minutos al inicio del proceso (Resolución N° 1215/1978 Servicio de Salud).
3. Declarar al Servicio de Salud (SESMA) las emisiones de material particulado de fuentes estacionarias, con mediciones certificadas por empresas autorizadas (Resolución N° 15.027/1994 del Servicio de Salud).
4. A partir de Enero de 1998 no se permite emitir más de 56 mg/m<sup>3</sup> para fuentes puntuales establecidas, y no mas de 56 mg/m<sup>3</sup> para fuentes grupales nuevas (Decreto N° 4/1992; N° 19.057/1993, ambos del Ministerio de Salud).
5. En el caso de la Región Metropolitana, que ha sido declarada Zona Saturada, las nuevas industrias deben compensar sus emisiones de material particulado de fuentes fijas con fuentes ya establecidas (Decreto N° 812/1995). Decreto Supremo N° 4 del Ministerio de Salud. Esto significa que se debe realizar una solicitud de compensación al SESMA.
6. D.S: N°322/91 que indica los excesos de aire máximos permitidos para diferentes combustibles.

**Regulaciones para emisiones líquidas**

1. D.F.L N°725/67, Código Sanitario, Artículos 67, 73.

2. D.S. N°609/98 que norma la emisión para regular los contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a alcantarillados.
3. Ley 3133/16 que establece regulaciones para los residuos provenientes de establecimientos industriales.

**Regulaciones para emisión de ruidos**

1. D.S. 146/97 que norma la emisión de ruidos molestos provenientes de fuentes fijas.
2. D.S. 594/99 del Ministerio de Salud, Párrafo III

**Regulaciones para emisión de residuos sólidos**

1. D.F.L N°725/67, Código Sanitario del MINSAL, Artículos 78 al 81. Detalles en el Anexo IV. De acuerdo a lo señalado en el punto de regulaciones para emisiones atmosféricas, se deberá realizar una solicitud de compensación de emisiones de fuentes fijas al SESMA. Esta solicitud permitirá instalar la planta dentro de la Región Metropolitana y establece que las emisiones de nuevas fuentes fijas deben ser compensadas con la reducción de emisiones de fuentes ya establecidas. De acuerdo a lo establecido por la letra k del artículo 3 de la ley 19.300, el proyecto no se ve afectado por el SEIA, por lo que no debe someterse a un estudio de impacto ambiental, sin embargo, se recomienda presentar voluntariamente una declaración de impacto ambiental a objeto de definir si es pertinente o no entrar al SEIA voluntariamente. Más detalles de este tema en el **Anexo N° 3**. Además, y

pensando en minimizar el impacto ambiental producto de la instalación de la planta, se pueden tomar diversas medidas que contribuyan a reducir las emisiones contaminantes, tales como:

2. Uso constante de la caldera y el horno rotatorio, ya que la puesta en marcha de éstos significa una mayor cantidad de gases contaminantes.
3. Utilización de un lavador de gases. Equipo que permitirá reducir los niveles de contaminación ya que permite captar gases contaminantes como  $CO_2$ ,  $H_2S$  y  $SO_2$  (producto de la quema de hidrocarburos), entre otros.
4. El lavador de gases es un equipo donde se prehumedecen los gases a la entrada y pasan por una cortina de agua. Posteriormente los gases limpios ascienden y salen a la atmósfera. El agua utilizada arrastra los sólidos separados y puede ser enviada a una laguna de sedimentación donde se separan de los sólidos para reutilizar el agua y ahorrar de esta manera este líquido. Se recomienda la habilitación de un lugar seguro para residuos sólidos y líquidos.
5. Buscar nuevas alternativas de inversión para reducir emisiones, tales como extractores, filtros de mangas, o alguna otra tecnología adecuada para el proyecto.
6. Utilizar quemador a gas para el horno rotatorio, combustible menos contaminante que el fuel oil N° 6. Sin embargo existe la desventaja de un mayor precio y la incertidumbre de suministro ante los problemas de abastecimiento desde Argentina. Por lo mismo, se recomienda evaluar el uso de otros tipos de combustibles.

***ANEXO IV***  
***- Balances de Energía -***

## A4.1 Balances de Energía

En esta sección se realiza el balance de energía para determinar la cantidad de combustible a ocupar tanto en la etapa de Pirolisis de la materia prima (Cáscaras de Nueces) como de Activación del carbón obtenido.

### A4.1.1 Etapa de Pirolisis: Fuel Diesel.

- Ecuación Combustión:  $C_m H_n + (m + n/4)O_2 \rightarrow mCO_2 + (n/2)H_2O$ . Donde:  $m$  y  $n$ , son los índices químicos.
- $C_{12}H_{23} + (12 + 23/4)O_2 \rightarrow 12CO_2 + (23/2)H_2O$
- Eficiencia reacción: 100% (*Se quema todo el material*)
- Exceso Combustible 20% (*Eficiencia Horno Rotatorio*)
- Poder Calorífico de Combustión:  $-43.102 [kj/kg]$  (*Cálculo base a HYSYS*)
- La temperatura alcanza hasta los 500 °C

Sea  $C_1 = C_3$  la cantidad de Fuel Diesel ( $kg/h$ ) que se necesitan para la carbonización, se desarrolla en base a 1 ( $kg/h$ ), entonces se oxidarán. Para el cálculo de cuanto combustible se necesita debemos saber cuales son:

- $Q_1$ : Calores necesarios para carbonizar la materia prima: (1) lleva la materia prima de 25 a 450 °C, (2) calor de reacción de pirolisis, (3) calor para llevar los gases productos de la pirolisis de 450 a 500 °C. ( $kJ/h$ )
- $Q_2$ : Calor para llevar los gases producto de la combustión ( $C_{GPC}$ ) del Fuel Diesel de 25 a 500 °C. ( $kJ/kg \cdot h$ )

- $Q_3$ : Calor de reacción de la combustión del Fuel Diesel a 25 °C. ( $kJ/kg \cdot h$ )
- Balance de Energía:  $C_3 \cdot Q_3 = Q_1 + C_3 \cdot Q_2$  Se despeja  $C_3$  [ $kg/h$ ].
- Otras Ecuaciones:  $C_3 = Q_1 / (Q_3 - Q_2)$  [ $kg/h$ ]

| <i>Balance</i> | [ <i>kJ/h</i> ] |
|----------------|-----------------|
| $Q_1$          | 2.136.921       |
| $Q_2$          | 8.659           |
| $Q_3$          | 43.102          |

**Tabla A4.1 – Resumen Calores Calculados Etapa Pirolisis.**

| <i>Flujo Fuel Diesel</i> | [ <i>kg/h</i> ] |
|--------------------------|-----------------|
| $C_3$                    | 74,0            |

**Tabla A4.2 – Flujo de Combustible Fuel Diesel.**

Para  $Q_1$  obtenemos los valores del capítulo VII, de la sección de balance de energía (Ecu. Sección 7.5.1 – Pirolisis).

| $C_{12}H_{23} + 17.75 O_2 \rightarrow 12 CO_2 + 11.5 H_2O$ |          | <b>Unidad</b> | <b>Fuente</b> |
|--|----------|---------------|---------------|
| $H_2O(l) \rightarrow H_2O(g)$                              | 44.012   | j/mol         | SVN           |
| $H_f C_{12}H_{23} (g)$                                     | -304.960 | j/mol         | HYSYS         |
| $H_f CO_2 (g)$   | -393.509 | j/mol         | SVN           |
| $H_f H_2O (g)$   | -241.818 | j/mol         | SVN           |

**Tabla A4.3 – Calores de Formación y Reacción, Combustión Fuel Diesel.**

Con los datos de la tabla anterior podemos calcular el valor del calor de reacción estándar. Donde  $\Delta H_R$  es el calor de combustión estándar  $-43.102$  [ $kJ/kg$ ],



se debe multiplicar por el flujo total de combustible  $C_3$ . Se toman datos promedios para el cálculo de las entalpias de formación así tenemos que el Fuel Diesel se comporte como  $C_{12}H_{23}$ . En la siguiente tabla se adjuntan los valores de los datos obtenidos de bibliografía y de software HYSYS.

| <i>Flujo</i>          | <i>C3</i>          |           |                |                |                |                      |
|-----------------------|--------------------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------------|
| <i>T1</i>             | 298                | [K]       |                |                |                |                      |
| <i>T2</i>             | 773                | [K]       |                |                |                |                      |
| <i>Presión</i>        | 2                  | [atm]     |                |                |                |                      |
| <i>Componente</i>     | <i>Flujo Total</i> |           | <i>Cp · ΔT</i> |                |                | <i>Q<sub>2</sub></i> |
|                       |                    |           | <i>Sólido</i>  | <i>Líquido</i> | <i>Gaseoso</i> |                      |
|                       | [kg/h]             | [kmol/h]  | [kJ/kmol]      | [kJ/kmol]      | [kJ/kmol]      | [kJ/h]               |
| <i>CO<sub>2</sub></i> | 235                | 5         |                |                | 21.777         | 97.083               |
| <i>H<sub>2</sub>O</i> | 92                 | 5         |                | 5.681          | 14.442         | 85.975               |
| <i>N<sub>2</sub></i>  | 834                | 30        |                |                | 14.276         | 354.139              |
| <b><i>Total</i></b>   | <b>1.161</b>       | <b>40</b> |                |                |                | <b>644.635</b>       |

Tabla A4.4 – Balance Energía, Gases Combustible Fuel Diesel.

#### A4.1.2 Etapa Activación: Fuel Diesel

Se repiten los mismo pasos para determinar el flujo de combustible para la etapa de activación, las cantidades se pueden observar en el capítulo de balance de materia en la sección de activación, donde se requiere un flujo de combustible para llevar a cabo la activación del carbón natural a 900 °C y de otro flujo para la generación de vapor de agua.

### A4.1.3 Etapa Pirolisis: Capacidades Caloríficas

Las capacidades caloríficas se determinaron en base a la integración de los parámetros disponibles en la literatura, en forma particular al libro: Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química de los autores: Smith, Joseph M. Van Ness, Hendrick C. Abbott, Michael M. Ed. McGraw-Hill, 5ª Edición. Ciudad de México, México. En unidades de  $(kj/kmol \cdot K)$

Se dispuso de la siguiente tabla donde se obtuvieron las constantes, que se adjuntan luego más adelante. La ecuación siguiente muestra la integración de a capacidad calorífica, evaluada sobre la temperatura inicial ( $T_1$ ) y la final ( $T_2$ ), para cada compuesto en particular:

$$Cp_{compuesto} = R \cdot \int_{T_1}^{T_2} Cp_{(T)} \cdot dT \quad \text{ecu. A4.1}$$

Donde  $R$ , es la constante de los gases ideales en  $(KJ/Kmol \cdot K)$ :

$$Cp_{(T)} = A + BT + CT^2 + DT^{-2} \quad \text{ecu. A4.2}$$

Integrando esta formulación en función de a temperatura ( $T$ ) nos da  $Cp_{(T)}^{INTEGRADO}$  entre os limites señalados.

***ANEXO V***  
***- Diseño Mecánico -***

**Tabla A5.1:** Capacidades y Tamaños de Estanques más Usados.

| 1<br>Tank<br>Diameter<br>(ft) | 2<br>Approx.<br>Capacity<br>per Foot<br>of Height<br>(bbl) | 3 Tank Height (ft)                  |         |         |         |         |         |          |                        |           |
|-------------------------------|--|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|------------------------|-----------|
|                               |  | 4<br>12                             | 5<br>18 | 6<br>24 | 7<br>30 | 8<br>36 | 9<br>42 | 10<br>48 | 11<br>54               | 12<br>60  |
|                               |  | Number of Courses in Completed Tank |         |         |         |         |         |          |                        |           |
|                               |  | 2                                   | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8        | 9                      | 10        |
| 10                            | 14.0   | 170                                 | 250     | 335     | 420     | 505     | ...     | ...      | ...                    | ...       |
| 15                            | 31.5   | 380                                 | 565     | 755     | 945     | 1,130   | ...     | ...      | ...                    | ...       |
| 20                            | 56.0   | 670                                 | 1,010   | 1,340   | 1,680   | 2,010   | 2,350   | 2,690    | ...                    | ...       |
| 25                            | 87.4   | 1,050                               | 1,570   | 2,100   | 2,620   | 3,150   | 3,670   | 4,200    | 4,720                  | 5,250     |
| 30                            | 126  | 1,510                               | 2,270   | 3,020   | 3,780   | 4,530   | 5,290   | 6,040    | 6,800                  | 7,550     |
| 35                            | 171  | 2,060                               | 3,080   | 4,110   | 5,140   | 6,170   | 7,200   | 8,230    | 9,250                  | 10,280    |
| 40                            | 224  | 2,690                               | 4,030   | 5,370   | 6,710   | 8,060   | 9,400   | 10,740   | 12,090                 | 13,430    |
| 45                            | 283  | 3,400                               | 5,100   | 6,800   | 8,500   | 10,200  | 11,900  | 13,600   | 15,300                 | 17,000    |
| 50                            | 350  | 4,200                               | 6,290   | 8,390   | 10,490  | 12,590  | 14,690  | 16,790   | 18,880                 | 20,980    |
| 60                            | 504  | 6,030                               | 9,060   | 12,909  | 15,110  | 18,130  | 21,150  | 24,170   | 27,190                 | 30,220    |
| 70                            | 685  | 8,230                               | 12,340  | 16,450  | 20,560  | 24,680  | 28,790  | 32,900   | 37,010                 | 41,130    |
| 80                            | 895  | 10,740                              | 16,120  | 21,490  | 26,860  | 32,230  | 37,600  | 42,970   | 48,350                 | 53,720    |
| 90                            | 1133   | 13,600                              | 20,390  | 27,190  | 33,990  | 40,790  | 47,590  | 54,380   | 61,180                 | 67,980    |
| 100                           | 1399   | 16,790                              | 25,180  | 33,570  | 41,970  | 50,360  | 58,750  | 67,140   | 75,540                 | 83,930    |
| 120                           | 2014   | ...                                 | 36,260  | 48,340  | 60,430  | 72,510  | 84,600  | 96,690   | 108,800                | 120,900   |
| 140                           | 2742   | ...                                 | 49,350  | 65,800  | 82,250  | 98,700  | 115,100 | 131,600  | 148,000                | 164,500   |
| 160                           | 3581   | ...                                 | ...     | ...     | 107,400 | 128,900 | 150,400 | 171,900  | 193,400                | 214,900   |
| 180                           | 4532   | ...                                 | ...     | ...     | 136,000 | 163,200 | 190,400 | 217,500  | 244,800                | 254,300   |
| 200                           | 5595   | ...                                 | ...     | ...     | 167,900 | 201,400 | 235,000 | 268,600  | 284,500                | $D = 174$ |
| 220                           | 6770   | ...                                 | ...     | ...     | 203,100 | 243,700 | 284,400 | 322,300  | $D = 194$<br>$D = 219$ |           |

**Tabla A5.2: Propiedades de Cañerías de Acero.**

| Nominal pipe size, in | Outside diameter, in | Schedule no. | Wall thickness, in | Inside diameter, in | Cross sectional area   |                       | Circumference, ft, or surface, ft <sup>2</sup> /ft of length |        | Capacity at 1-ft/s velocity |            | Weight of plain end pipe, lb/ft |
|-----------------------|----------------------|--------------|--------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|--|--------|-----------------------------|------------|---------------------------------|
|                       |                      |              |                    |                     | Metal, in <sup>2</sup> | Flow, ft <sup>2</sup> | Outside  | Inside | U.S. gal/min                | lb/h water |                                 |
|                       |                      |              |                    |                     |                        |                       |  |        |                             |            |                                 |
| ½                     | 0.405                | 10S          | 0.040              | 0.307               | 0.055                  | 0.00051               | 0.106  | 0.0804 | 0.231                       | 115.5      | 0.10                            |
|                       |                      | 40ST, 40S    | .068               | .269                | .072                   | .00040                | .106   | .0705  | .179                        | 89.5       | .24                             |
|                       |                      | 80XS, 80S    | .095               | .245                | .093                   | .00025                | .106   | .0563  | .143                        | 56.5       | .31                             |
| ¾                     | 0.540                | 10S          | .065               | .410                | .097                   | .00092                | .141   | .107   | .412                        | 206.5      | .33                             |
|                       |                      | 40ST, 40S    | .088               | .364                | .125                   | .00072                | .141   | .085   | .323                        | 161.5      | .42                             |
|                       |                      | 80XS, 80S    | .140               | .302                | .157                   | .00050                | .141   | .079   | .224                        | 112.0      | .54                             |
| 1                     | 0.675                | 10S          | .065               | .545                | .125                   | .00162                | .177   | .143   | .727                        | 363.5      | .42                             |
|                       |                      | 40ST, 40S    | .091               | .493                | .167                   | .00133                | .177   | .129   | .596                        | 298.0      | .57                             |
|                       |                      | 80XS, 80S    | .126               | .423                | .217                   | .00098                | .177   | .111   | .440                        | 220.0      | .74                             |
| 1 ¼                   | 0.840                | 5S           | .065               | .710                | .158                   | .00275                | .220   | .186   | 1.234                       | 617.0      | .54                             |
|                       |                      | 10S          | .083               | .674                | .197                   | .00248                | .220   | .176   | 1.112                       | 556.0      | .67                             |
|                       |                      | 40ST, 40S    | .109               | .622                | .250                   | .00211                | .220   | .163   | 0.945                       | 472.0      | .85                             |
|                       |                      | 80XS, 80S    | .147               | .546                | .320                   | .00163                | .220   | .143   | 0.730                       | 365.0      | 1.09                            |
|                       |                      | 160          | .188               | .464                | .385                   | .00117                | .220   | .122   | 0.527                       | 263.5      | 1.31                            |
|                       |                      | XX           | .294               | .252                | .501                   | .00035                | .220   | .066   | 0.155                       | 77.5       | 1.71                            |
| 1 ½                   | 1.050                | 5S           | .065               | .920                | .201                   | .00461                | .275   | .241   | 2.072                       | 1036.0     | 0.69                            |
|                       |                      | 10S          | .083               | .884                | .252                   | .00426                | .275   | .231   | 1.903                       | 951.5      | 0.86                            |
|                       |                      | 40ST, 40S    | .113               | .824                | .333                   | .00371                | .275   | .216   | 1.665                       | 832.5      | 1.13                            |
|                       |                      | 80XS, 80S    | .154               | .742                | .433                   | .00300                | .275   | .194   | 1.345                       | 672.5      | 1.47                            |
|                       |                      | 160          | .219               | .612                | .572                   | .00204                | .275   | .160   | 0.917                       | 458.5      | 1.91                            |
|                       |                      | XX           | .308               | .434                | .718                   | .00103                | .275   | .114   | 0.461                       | 230.5      | 2.44                            |
| 2                     | 1.315                | 5S           | .065               | 1.185               | .255                   | .00768                | .344   | .310   | 3.449                       | 1725       | 0.87                            |
|                       |                      | 10S          | .109               | 1.097               | .413                   | .00656                | .344   | .287   | 2.946                       | 1473       | 1.40                            |
|                       |                      | 40ST, 40S    | .133               | 1.049               | .494                   | .00600                | .344   | .275   | 2.690                       | 1345       | 1.68                            |
|                       |                      | 80XS, 80S    | .179               | 0.957               | .639                   | .00499                | .344   | .250   | 2.240                       | 1120       | 2.17                            |
|                       |                      | 160          | .250               | 0.815               | .836                   | .00362                | .344   | .213   | 1.625                       | 812.5      | 2.84                            |
|                       |                      | XX           | .358               | 0.599               | 1.076                  | .00196                | .344   | .157   | 0.878                       | 439.0      | 3.66                            |
| 2 ¼                   | 1.660                | 5S           | .065               | 1.530               | .326                   | .01277                | .435   | .404   | 5.73                        | 2865       | 1.14                            |
|                       |                      | 10S          | .109               | 1.442               | .531                   | .01134                | .435   | .378   | 5.09                        | 2545       | 1.81                            |
|                       |                      | 40ST, 40S    | .140               | 1.380               | .668                   | .01040                | .435   | .364   | 4.57                        | 2285       | 2.27                            |
|                       |                      | 80XS, 80S    | .191               | 1.278               | .881                   | .00891                | .435   | .335   | 3.99                        | 1995       | 3.00                            |
|                       |                      | 160          | .250               | 1.160               | 1.107                  | .00734                | .435   | .304   | 3.29                        | 1645       | 3.76                            |
|                       |                      | XX           | .382               | 0.896               | 1.534                  | .00438                | .435   | .235   | 1.07                        | 985        | 5.21                            |
| 2 ½                   | 1.900                | 5S           | .065               | 1.770               | .375                   | .01709                | .497   | .463   | 7.67                        | 3835       | 1.28                            |
|                       |                      | 10S          | .109               | 1.682               | .614                   | .01543                | .497   | .440   | 6.94                        | 3465       | 2.09                            |
|                       |                      | 40ST, 40S    | .145               | 1.610               | .800                   | .01414                | .497   | .424   | 6.34                        | 3170       | 2.72                            |
|                       |                      | 80XS, 80S    | .200               | 1.500               | 1.060                  | .01225                | .497   | .393   | 5.49                        | 2745       | 3.63                            |
|                       |                      | 160          | .281               | 1.348               | 1.429                  | .00976                | .497   | .350   | 4.38                        | 2190       | 4.86                            |
|                       |                      | XX           | .400               | 1.100               | 1.885                  | .00660                | .497   | .288   | 2.96                        | 1480       | 6.41                            |
| 3                     | 2.375                | 5S           | .065               | 2.245               | .472                   | .02740                | .622   | .588   | 12.34                       | 6170       | 1.61                            |
|                       |                      | 10S          | .109               | 2.157               | .776                   | .02538                | .622   | .565   | 11.39                       | 5695       | 2.64                            |
|                       |                      | 40ST, 40S    | .154               | 2.067               | 1.075                  | .02330                | .622   | .541   | 10.45                       | 5225       | 3.65                            |
|                       |                      | 80ST, 80S    | .218               | 1.939               | 1.477                  | .02050                | .622   | .508   | 9.20                        | 4600       | 5.02                            |
|                       |                      | 160          | .314               | 1.687               | 2.195                  | .01552                | .622   | .436   | 6.97                        | 3485       | 7.46                            |
|                       |                      | XX           | .436               | 1.503               | 2.656                  | .01232                | .622   | .393   | 5.53                        | 2765       | 9.03                            |
| 3 ½                   | 2.875                | 5S           | .083               | 2.709               | .728                   | .041003               | .753   | .709   | 17.97                       | 8985       | 2.48                            |
|                       |                      | 10S          | .120               | 2.635               | 1.039                  | .03787                | .753   | .690   | 17.00                       | 8500       | 3.53                            |
|                       |                      | 40ST, 40S    | .203               | 2.469               | 1.704                  | .03322                | .753   | .647   | 14.92                       | 7460       | 5.79                            |
|                       |                      | 80XS, 80S    | .276               | 2.323               | 2.254                  | .02942                | .753   | .608   | 13.20                       | 6600       | 7.66                            |
|                       |                      | 160          | .375               | 2.125               | 2.945                  | .02463                | .753   | .556   | 11.07                       | 5535       | 10.01                           |
|                       |                      | XX           | .552               | 1.771               | 4.028                  | .01711                | .753   | .464   | 7.68                        | 3840       | 13.69                           |
| 4                     | 3.500                | 5S           | .083               | 3.334               | .891                   | .06063                | .916   | .873   | 27.21                       | 13,605     | 3.03                            |
|                       |                      | 10S          | .120               | 3.260               | 1.274                  | .05796                | .916   | .853   | 26.02                       | 13,040     | 4.33                            |
|                       |                      | 40ST, 40S    | .216               | 3.068               | 2.228                  | .05130                | .916   | .803   | 23.00                       | 11,500     | 7.58                            |
|                       |                      | 80XS, 80S    | .300               | 2.900               | 3.016                  | .04587                | .916   | .759   | 20.55                       | 10,275     | 10.25                           |
|                       |                      | 160          | .438               | 2.624               | 4.243                  | .03755                | .916   | .687   | 16.86                       | 8430       | 14.32                           |
|                       |                      | XX           | .600               | 2.300               | 5.466                  | .02885                | .916   | .602   | 12.95                       | 6475       | 18.58                           |
| 4 ½                   | 4.0                  | 5S           | .083               | 3.834               | 1.021                  | .08017                | 1.047  | 1.004  | 35.98                       | 17,990     | 3.48                            |
|                       |                      | 10S          | .120               | 3.760               | 1.463                  | .07714                | 1.047  | 0.984  | 34.61                       | 17,305     | 4.97                            |
|                       |                      | 40ST, 40S    | .226               | 3.548               | 2.680                  | .06870                | 1.047  | 0.929  | 30.80                       | 15,400     | 9.11                            |
|                       |                      | 80XS, 80S    | .318               | 3.364               | 3.678                  | .06170                | 1.047  | 0.881  | 27.70                       | 13,850     | 12.50                           |
|                       |                      | 10S          | .120               | 4.334               | 1.452                  | .10245                | 1.178  | 1.135  | 46.0                        | 23,000     | 3.92                            |
|                       |                      | 40ST, 40S    | .237               | 4.026               | 3.17                   | .08940                | 1.178  | 1.054  | 39.6                        | 19,800     | 10.79                           |
| 80XS, 80S             | .317                 | 3.826        | 4.41               | .07986              | 1.178                  | 1.002                 | 35.8   | 17,900 | 14.98                       |            |                                 |

**Tabla A5.2: Propiedades de Cañerías de Acero.**

| Nominal pipe size, in | Outside diameter, in | Schedule no | Wall thickness, in | Inside diameter, in | Cross sectional area   |                       | Circumference, ft, on surface, ft <sup>2</sup> /ft of length |         | Capacity at 1-ft/s velocity |            | Weight of plain end pipe, lb/ft |         |       |
|-----------------------|----------------------|-------------|--------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|--|---------|-----------------------------|------------|---------------------------------|---------|-------|
|                       |                      |             |                    |                     | Metal, in <sup>2</sup> | Flow, ft <sup>2</sup> | Outside  | Inside  | U.S. gal/min                | lb/h water |                                 |         |       |
|                       |                      |             |                    |                     |                        |                       |  |         |                             |            |                                 |         |       |
| 5                     | 5.563                | 120         | .438               | 3.624               | 5.58                   | .07170                | 1.178  | 0.019   | 32.2                        | 16,100     | 19.00                           |         |       |
|                       |                      | 160         | .531               | 3.430               | 6.62                   | .06617                | 1.178  | 0.000   | 28.0                        | 14,450     | 22.51                           |         |       |
|                       |                      | XX          | .671               | 3.152               | 8.10                   | .05419                | 1.178  | 0.825   | 24.3                        | 12,150     | 27.54                           |         |       |
|                       |                      | 5S          | .109               | 5.345               | 1.87                   | .1558                 | 1.456  | 1.399   | 69.0                        | 31,950     | 6.36                            |         |       |
|                       |                      | 10S         | .131               | 5.295               | 2.20                   | .1529                 | 1.456  | 1.386   | 68.6                        | 31,300     | 7.77                            |         |       |
|                       |                      | 40ST, 40S   | .258               | 5.017               | 4.30                   | .1390                 | 1.456  | 1.321   | 62.3                        | 31,150     | 14.02                           |         |       |
|                       |                      | 80XS, 80S   | .375               | 4.813               | 6.11                   | .1261                 | 1.456  | 1.260   | 57.7                        | 28,850     | 20.78                           |         |       |
|                       |                      | 120         | .500               | 4.563               | 7.05                   | .1136                 | 1.456  | 1.195   | 51.0                        | 25,500     | 27.01                           |         |       |
|                       |                      | 160         | .625               | 4.313               | 9.70                   | .1015                 | 1.456  | 1.129   | 45.5                        | 22,750     | 32.06                           |         |       |
|                       |                      | XX          | .750               | 4.063               | 11.31                  | .0900                 | 1.456  | 1.061   | 40.4                        | 20,200     | 38.55                           |         |       |
|                       |                      | 6           | 6.625              | 5S                  | 0.109                  | 6.407                 | 2.23   | 0.2239  | 1.731                       | 1.677      | 100.5                           | 50,250  | 7.60  |
|                       |                      |             |                    | 10S                 | .131                   | 6.357                 | 2.73   | .2201   | 1.731                       | 1.664      | 98.0                            | 49,450  | 9.29  |
| 40ST, 40S             | .280                 |             |                    | 6.065               | 5.58                   | .2006                 | 1.731  | 1.598   | 90.0                        | 45,000     | 18.97                           |         |       |
| 80XS, 80S             | .432                 |             |                    | 5.761               | 8.40                   | .1810                 | 1.731  | 1.508   | 81.1                        | 40,550     | 28.57                           |         |       |
| 120                   | .562                 |             |                    | 5.501               | 10.70                  | .1650                 | 1.731  | 1.440   | 73.9                        | 36,950     | 36.39                           |         |       |
| 160                   | .719                 |             |                    | 5.197               | 13.31                  | .1467                 | 1.731  | 1.358   | 65.9                        | 32,950     | 45.34                           |         |       |
| XX                    | .861                 |             |                    | 4.897               | 15.61                  | .1308                 | 1.731  | 1.282   | 58.7                        | 29,350     | 53.16                           |         |       |
| 8                     | 8.625                |             |                    | 5S                  | .109                   | 8.407                 | 2.915  | .3855   | 2.258                       | 2.201      | 173.0                           | 86,500  | 9.93  |
|                       |                      |             |                    | 10S                 | .138                   | 8.329                 | 3.911  | .3781   | 2.258                       | 2.180      | 169.0                           | 84,900  | 13.40 |
|                       |                      |             |                    | 20                  | .250                   | 8.125                 | 6.578  | .3601   | 2.258                       | 2.127      | 161.5                           | 80,750  | 22.36 |
|                       |                      |             |                    | 30                  | .277                   | 8.071                 | 7.265  | .3553   | 2.258                       | 2.113      | 159.4                           | 79,700  | 24.70 |
|                       |                      |             |                    | 40ST, 40S           | .322                   | 7.981                 | 8.399  | .3471   | 2.258                       | 2.089      | 155.7                           | 77,850  | 28.55 |
|                       |                      | 60          | .406               | 7.813               | 10.48                  | .3329                 | 2.258  | 2.045   | 149.4                       | 74,700     | 35.64                           |         |       |
|                       |                      | 80XS, 80S   | .500               | 7.625               | 12.76                  | .3171                 | 2.258  | 1.996   | 142.3                       | 71,150     | 43.39                           |         |       |
|                       |                      | 100         | .591               | 7.437               | 14.99                  | .3017                 | 2.258  | 1.947   | 135.1                       | 67,700     | 50.05                           |         |       |
|                       |                      | 120         | .719               | 7.187               | 17.86                  | .2817                 | 2.258  | 1.882   | 126.4                       | 63,200     | 60.71                           |         |       |
|                       |                      | 140         | .812               | 7.001               | 19.93                  | .2673                 | 2.258  | 1.833   | 120.0                       | 60,000     | 67.76                           |         |       |
|                       |                      | XX          | .875               | 6.875               | 21.30                  | .2578                 | 2.258  | 1.800   | 115.7                       | 57,850     | 72.42                           |         |       |
|                       |                      | 160         | .906               | 6.813               | 21.97                  | .2532                 | 2.258  | 1.781   | 113.5                       | 56,750     | 74.69                           |         |       |
| 10                    | 10.75                | 5S          | .131               | 10.492              | 4.47                   | .5993                 | 2.811  | 2.741   | 269.0                       | 131,500    | 15.19                           |         |       |
|                       |                      | 10S         | .165               | 10.420              | 5.49                   | .5922                 | 2.811  | 2.728   | 265.8                       | 129,900    | 18.65                           |         |       |
|                       |                      | 20          | .250               | 10.250              | 8.25                   | .5731                 | 2.811  | 2.685   | 257.0                       | 124,500    | 28.01                           |         |       |
|                       |                      | 30          | .307               | 10.116              | 10.07                  | .5603                 | 2.811  | 2.655   | 252.0                       | 126,000    | 34.24                           |         |       |
|                       |                      | 40ST, 40S   | .365               | 10.020              | 11.91                  | .5475                 | 2.811  | 2.620   | 246.0                       | 123,000    | 40.48                           |         |       |
|                       |                      | 60          | .500               | 9.750               | 16.10                  | .5185                 | 2.811  | 2.550   | 233.0                       | 116,500    | 54.74                           |         |       |
|                       |                      | 80          | .591               | 9.562               | 18.95                  | .4997                 | 2.811  | 2.503   | 223.4                       | 111,700    | 64.43                           |         |       |
|                       |                      | 100         | .719               | 9.312               | 22.66                  | .4729                 | 2.811  | 2.438   | 212.3                       | 106,150    | 77.03                           |         |       |
|                       |                      | 120         | .811               | 9.062               | 26.27                  | .4479                 | 2.811  | 2.372   | 201.0                       | 100,500    | 89.29                           |         |       |
|                       |                      | 140, XX     | 1.000              | 8.750               | 30.63                  | .4176                 | 2.811  | 2.291   | 188.0                       | 94,000     | 101.33                          |         |       |
|                       |                      | 160         | 1.125              | 8.500               | 34.02                  | .3911                 | 2.811  | 2.225   | 177.0                       | 88,500     | 115.64                          |         |       |
|                       |                      | 12          | 12.75              | 5S                  | 0.156                  | 12.438                | 6.17   | .8138   | 3.338                       | 3.26       | 378.7                           | 189,350 | 20.98 |
| 10S                   | 0.190                |             |                    | 12.390              | 7.11                   | .8073                 | 3.338  | 3.24    | 375.8                       | 187,900    | 24.17                           |         |       |
| 20                    | 0.250                |             |                    | 12.250              | 9.82                   | .7885                 | 3.338  | 3.21    | 367.0                       | 183,500    | 33.38                           |         |       |
| 30                    | 0.310                |             |                    | 12.090              | 12.88                  | .7672                 | 3.338  | 3.17    | 358.0                       | 179,000    | 43.77                           |         |       |
| 40ST, 40S             | 0.375                |             |                    | 12.000              | 14.58                  | .7651                 | 3.338  | 3.14    | 352.5                       | 176,250    | 50.56                           |         |       |
| 60                    | 0.406                |             |                    | 11.938              | 15.71                  | .7773                 | 3.338  | 3.13    | 349.0                       | 174,500    | 53.52                           |         |       |
| 80S, 80S              | 0.500                |             |                    | 11.750              | 19.21                  | .7530                 | 3.338  | 3.08    | 338.0                       | 169,000    | 65.42                           |         |       |
| 100                   | 0.562                |             |                    | 11.626              | 21.52                  | .7372                 | 3.338  | 3.04    | 331.0                       | 165,500    | 73.15                           |         |       |
| 120                   | 0.690                |             |                    | 11.371              | 26.07                  | .7056                 | 3.338  | 2.98    | 316.7                       | 158,350    | 88.63                           |         |       |
| 140                   | 0.811                |             |                    | 11.062              | 31.57                  | .6674                 | 3.338  | 2.90    | 299.6                       | 149,800    | 107.32                          |         |       |
| 160, XX               | 1.000                |             |                    | 10.750              | 36.91                  | .6303                 | 3.338  | 2.81    | 283.0                       | 141,500    | 125.49                          |         |       |
| 180                   | 1.125                |             |                    | 10.500              | 41.09                  | .6013                 | 3.338  | 2.75    | 270.0                       | 135,000    | 139.67                          |         |       |
| 200                   | 1.312                | 10.126      | 47.14              | .5592               | 3.338                  | 2.65                  | 251.0  | 125,500 | 160.27                      |            |                                 |         |       |
| 14                    | 14                   | 5S          | 0.156              | 13.688              | 6.78                   | 1.0219                | 3.665  | 3.58    | 459                         | 229,500    | 23.07                           |         |       |
|                       |                      | 10S         | 0.193              | 13.621              | 8.16                   | 1.0125                | 3.665  | 3.57    | 451                         | 227,000    | 27.73                           |         |       |
|                       |                      | 20          | 0.250              | 13.500              | 10.80                  | .9940                 | 3.665  | 3.53    | 446                         | 223,000    | 36.71                           |         |       |
|                       |                      | 30          | 0.312              | 13.376              | 13.42                  | .9750                 | 3.665  | 3.50    | 438                         | 219,000    | 45.61                           |         |       |
|                       |                      | 40ST, 40S   | 0.375              | 13.250              | 16.05                  | .9575                 | 3.665  | 3.47    | 430                         | 215,000    | 54.57                           |         |       |
|                       |                      | 60          | 0.491              | 13.124              | 18.66                  | .9397                 | 3.665  | 3.44    | 422                         | 211,000    | 63.14                           |         |       |
|                       |                      | 80S         | 0.500              | 13.000              | 21.21                  | .9219                 | 3.665  | 3.40    | 414                         | 207,000    | 72.09                           |         |       |
|                       |                      | 100         | 0.591              | 12.812              | 25.02                  | .8957                 | 3.665  | 3.35    | 402                         | 201,000    | 85.05                           |         |       |
|                       |                      | 120         | 0.750              | 12.500              | 31.22                  | .8522                 | 3.665  | 3.27    | 382                         | 191,000    | 106.13                          |         |       |
|                       |                      | 140         | 0.939              | 12.124              | 38.49                  | .8017                 | 3.665  | 3.17    | 360                         | 180,000    | 130.85                          |         |       |
|                       |                      | 160         | 1.091              | 11.812              | 44.36                  | .7410                 | 3.665  | 3.09    | 342                         | 171,000    | 150.79                          |         |       |
|                       |                      | 180         | 1.250              | 11.500              | 50.07                  | .6713                 | 3.665  | 3.01    | 324                         | 162,000    | 170.21                          |         |       |
| 200                   | 1.406                | 11.198      | 55.63              | .6027               | 3.665                  | 2.93                  | 306  | 153,000 | 189.11                      |            |                                 |         |       |
| 16                    | 16                   | 5S          | 0.165              | 15.670              | 8.21                   | 1.3393                | 4.189  | 4.10    | 601                         | 300,500    | 27.00                           |         |       |
|                       |                      | 10S         | 0.188              | 15.621              | 9.34                   | 1.3311                | 4.189  | 4.09    | 598                         | 298,000    | 31.75                           |         |       |
|                       |                      | 20          | 0.250              | 15.500              | 12.37                  | 1.3104                | 4.189  | 4.06    | 587                         | 293,500    | 42.05                           |         |       |

Tabla A5.2: Propiedades de Cañerías de Acero.

| Nominal pipe size, in | Outside diameter, in | Schedule no | Wall thickness, in | Inside diameter, in | Cross-sectional area   |                       | Circumference, ft, or surface, ft <sup>2</sup> /ft of length |         | Capacity at 1-ft/s velocity |             | Weight of plate end pipe, lb/ft |           |        |
|-----------------------|----------------------|-------------|--------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|--|---------|-----------------------------|-------------|---------------------------------|-----------|--------|
|                       |                      |             |                    |                     | Metal, in <sup>2</sup> | Flow, ft <sup>2</sup> | Outside  | Inside  | U.S. gal/mfo                | lb/lb water |                                 |           |        |
|                       |                      |             |                    |                     |                        |                       |  |         |                             |             |                                 |           |        |
| 18                    | 18                   | 20          | 0.312              | 15.376              | 15.38                  | 1.2085                | 4.180  | 4.03    | 578                         | 289,000     | 52.27                           |           |        |
|                       |                      | 30, ST      | 0.375              | 15.250              | 14.41                  | 1.2680                | 4.189  | 3.99    | 568                         | 284,000     | 62.53                           |           |        |
|                       |                      | 40, XS      | 0.500              | 15.000              | 14.35                  | 1.2272                | 4.189  | 3.93    | 550                         | 275,000     | 82.77                           |           |        |
|                       |                      | 60          | 0.656              | 14.688              | 14.62                  | 1.1766                | 4.189  | 3.85    | 528                         | 264,000     | 107.50                          |           |        |
|                       |                      | 80          | 0.844              | 14.312              | 14.19                  | 1.1171                | 4.189  | 3.75    | 501                         | 250,500     | 136.61                          |           |        |
|                       |                      | 100         | 1.031              | 13.938              | 14.48                  | 1.0596                | 4.189  | 3.65    | 474                         | 237,000     | 164.82                          |           |        |
|                       |                      | 120         | 1.210              | 13.562              | 14.61                  | 1.0032                | 4.189  | 3.55    | 450                         | 225,000     | 192.43                          |           |        |
|                       |                      | 140         | 1.438              | 13.124              | 14.79                  | 0.9394                | 4.189  | 3.44    | 422                         | 211,000     | 223.64                          |           |        |
|                       |                      | 160         | 1.594              | 12.812              | 14.94                  | 0.8953                | 4.189  | 3.35    | 402                         | 201,000     | 245.25                          |           |        |
|                       |                      | 5S          | 0.165              | 17.670              | 9.25                   | 1.7029                | 4.712  | 4.63    | 764                         | 382,000     | 31.43                           |           |        |
|                       |                      | 10S         | 0.188              | 17.624              | 10.52                  | 1.6941                | 4.712  | 4.61    | 760                         | 379,000     | 35.76                           |           |        |
|                       |                      | 10          | 0.250              | 17.500              | 13.04                  | 1.6703                | 4.712  | 4.58    | 750                         | 375,000     | 47.39                           |           |        |
|                       |                      | 20          | 0.312              | 17.376              | 17.34                  | 1.6468                | 4.712  | 4.55    | 739                         | 369,500     | 58.91                           |           |        |
|                       |                      | ST          | 0.375              | 17.250              | 20.76                  | 1.6230                | 4.712  | 4.52    | 728                         | 364,000     | 70.59                           |           |        |
|                       |                      | 30          | 0.438              | 17.124              | 24.16                  | 1.5993                | 4.712  | 4.49    | 718                         | 359,000     | 82.15                           |           |        |
|                       |                      | XS          | 0.500              | 17.000              | 27.49                  | 1.5763                | 4.712  | 4.45    | 707                         | 354,500     | 93.45                           |           |        |
| 40                    | 0.562                | 16.876      | 30.79              | 1.5533              | 4.712                  | 4.42                  | 697  | 349,500 | 104.67                      |             |                                 |           |        |
| 60                    | 0.750                | 16.500      | 40.64              | 1.4949              | 4.712                  | 4.32                  | 666  | 333,000 | 139.17                      |             |                                 |           |        |
| 80                    | 0.938                | 16.124      | 50.28              | 1.4180              | 4.712                  | 4.22                  | 636  | 318,000 | 170.02                      |             |                                 |           |        |
| 100                   | 1.156                | 15.688      | 61.17              | 1.3423              | 4.712                  | 4.11                  | 602  | 301,000 | 207.06                      |             |                                 |           |        |
| 120                   | 1.375                | 15.250      | 71.82              | 1.2684              | 4.712                  | 3.99                  | 569  | 284,500 | 244.44                      |             |                                 |           |        |
| 140                   | 1.562                | 14.876      | 80.66              | 1.2070              | 4.712                  | 3.89                  | 540  | 270,000 | 274.22                      |             |                                 |           |        |
| 160                   | 1.781                | 14.438      | 90.75              | 1.1370              | 4.712                  | 3.78                  | 510  | 255,000 | 308.50                      |             |                                 |           |        |
| 20                    | 20                   | 5S          | 0.188              | 19.624              | 11.70                  | 2.1004                | 5.236  | 5.14    | 943                         | 471,500     | 39.78                           |           |        |
|                       |                      | 10S         | 0.218              | 19.564              | 13.55                  | 2.0978                | 5.236  | 5.12    | 937                         | 467,500     | 46.06                           |           |        |
|                       |                      | 10          | 0.250              | 19.500              | 15.51                  | 2.0740                | 5.236  | 5.11    | 930                         | 465,000     | 52.73                           |           |        |
|                       |                      | 20, ST      | 0.375              | 19.250              | 23.12                  | 2.0211                | 5.236  | 5.04    | 902                         | 451,000     | 78.60                           |           |        |
|                       |                      | 30, XS      | 0.500              | 19.000              | 30.63                  | 1.9680                | 5.236  | 4.97    | 883                         | 441,500     | 104.13                          |           |        |
|                       |                      | 40          | 0.591              | 18.812              | 36.21                  | 1.9302                | 5.236  | 4.92    | 866                         | 433,000     | 123.11                          |           |        |
|                       |                      | 60          | 0.812              | 18.376              | 48.95                  | 1.8417                | 5.236  | 4.81    | 826                         | 413,000     | 166.40                          |           |        |
|                       |                      | 80          | 1.031              | 17.938              | 61.44                  | 1.7550                | 5.236  | 4.70    | 787                         | 393,500     | 208.87                          |           |        |
|                       |                      | 100         | 1.281              | 17.438              | 75.33                  | 1.6585                | 5.236  | 4.57    | 744                         | 372,000     | 256.10                          |           |        |
|                       |                      | 120         | 1.500              | 17.000              | 87.18                  | 1.5763                | 5.236  | 4.45    | 707                         | 353,500     | 296.37                          |           |        |
|                       |                      | 140         | 1.750              | 16.500              | 100.3                  | 1.4949                | 5.236  | 4.32    | 665                         | 332,500     | 341.09                          |           |        |
|                       |                      | 160         | 1.969              | 16.062              | 111.5                  | 1.4071                | 5.236  | 4.21    | 632                         | 316,000     | 397.17                          |           |        |
|                       |                      | 24          | 24                 | 5S                  | 0.218                  | 23.564                | 16.29  | 3.0285  | 6.283                       | 6.17        | 1359                            | 679,500   | 55.37  |
|                       |                      |             |                    | 10, 10S             | 0.250                  | 23.500                | 18.65  | 3.012   | 6.283                       | 6.15        | 1350                            | 675,000   | 63.41  |
|                       |                      |             |                    | 20, ST              | 0.375                  | 23.250                | 27.83  | 2.948   | 6.283                       | 6.09        | 1325                            | 662,500   | 94.62  |
|                       |                      |             |                    | XS                  | 0.500                  | 23.000                | 36.90  | 2.885   | 6.283                       | 6.02        | 1295                            | 642,500   | 125.49 |
| 30                    | 0.562                |             |                    | 22.876              | 41.39                  | 2.854                 | 6.283  | 5.99    | 1284                        | 640,500     | 140.68                          |           |        |
| 40                    | 0.608                |             |                    | 22.624              | 50.39                  | 2.792                 | 6.283  | 5.92    | 1253                        | 626,500     | 171.29                          |           |        |
| 60                    | 0.969                |             |                    | 22.062              | 70.11                  | 2.655                 | 6.283  | 5.78    | 1102                        | 596,000     | 238.35                          |           |        |
| 80                    | 1.219                |             |                    | 21.562              | 87.24                  | 2.536                 | 6.283  | 5.64    | 1138                        | 569,000     | 296.58                          |           |        |
| 100                   | 1.511                |             |                    | 20.938              | 108.1                  | 2.391                 | 6.283  | 5.48    | 1073                        | 536,500     | 367.39                          |           |        |
| 120                   | 1.812                |             |                    | 20.376              | 126.3                  | 2.264                 | 6.283  | 5.33    | 1016                        | 508,000     | 429.39                          |           |        |
| 140                   | 2.062                |             |                    | 19.876              | 142.1                  | 2.155                 | 6.283  | 5.20    | 965                         | 482,500     | 483.12                          |           |        |
| 160                   | 2.344                |             |                    | 19.312              | 159.5                  | 2.034                 | 6.283  | 5.06    | 914                         | 456,500     | 542.13                          |           |        |
| 30                    | 30                   |             |                    | 5S                  | 0.250                  | 29.500                | 23.37  | 4.746   | 7.854                       | 7.72        | 2130                            | 1,065,000 | 79.43  |
|                       |                      |             |                    | 10, 10S             | 0.312                  | 29.376                | 29.10  | 4.707   | 7.854                       | 7.69        | 2110                            | 1,055,000 | 98.93  |
|                       |                      |             |                    | ST                  | 0.375                  | 29.259                | 34.90  | 4.666   | 7.854                       | 7.66        | 2094                            | 1,048,000 | 118.65 |
|                       |                      |             |                    | 20, XS              | 0.500                  | 29.009                | 46.34  | 4.587   | 7.854                       | 7.59        | 2055                            | 1,027,500 | 157.53 |
|                       |                      | 30          | 0.625              | 28.750              | 57.68                  | 4.508                 | 7.854  | 7.53    | 2020                        | 1,010,000   | 196.08                          |           |        |

**Tabla A5.3:** Velocidad Recomendable y Caída de Presión Máxima para Acero al Carbón con Líquidos de Procesos y Servicios.

| Tipo de Servicio                                     | Velocidad [pie/s] | Máxima Caída de Presión<br>Psi/100 pies de cañería |
|--|-------------------|--|
| <b>Líneas en General</b>                             |                   |  |
| 1.- Recomendación General                            | 5 – 15            | 4  |
| 2.- Flujo Laminar                                    | 4 – 5             | 4  |
| 3.- Flujo Turbulento (densidad lb/pie <sup>3</sup> ) |                   |  |
| 100  | 5 – 8             | 4  |
| 50   | 6 – 10            | 4  |
| 20   | 10 – 15           | 4  |
| 4.- Succión de Bomba                                 |                   |  |
| Ebullendo  | 2 – 6             | 0,5  |
| No Ebullendo   | 4 – 8             | 1,0  |
| 5.- Descarga Bomba                                   |                   |  |
| 0 – 250 GPM  | 6 – 8             | 6  |
| 250 – 700 GPM  | 8 – 10            | 4  |
| > 700 GPM  | 10 – 15           | 2  |
| 6.- Salida por Fondo                                 | 4 – 6             | 0,6  |
| 7.- Purga Rehevador                                  | 1 – 4             | 0,15   |
| 8.- Líquido desde Condensador                        | 3 – 6             | 0,5  |
| 9.- Líquido a Enfriador                              | 4 – 6             | -  |
| 10.- Líneas Refrigerantes                            | 2 – 4             | 0,4  |
| 11.- Líneas por Gravedad                             | 3 – 8             | 0,4  |
| 12.- Alimentación a Torres                           | 4 – 6             | -  |
| <b>Líneas de Agua</b>                                |                   |  |
| 1.- Servicio General                                 | 2 – 16            | 2  |
| Diámetro en Pulgadas                                 |                   |  |
| 1  | 2 – 3             | 2  |
| 2  | 3 – 4,5           | 2  |
| 4  | 5 – 7             | 2  |
| 6  | 7 – 9             | 2  |
| 8  | 8 – 10            | 2  |
| 10   | 10 – 12           | 2  |
| 12   | 10 – 14           | 2  |
| 16   | 10 – 15           | 2  |
| 20 y mayor   | 10 – 16           | 2  |
| 2.- Succión Bombas y Drenaje                         | 4 – 7             | 2  |
| 3.- Descarga Bomba                                   | 8 – 15            | 2  |
| 4.- Agua de Enfriamiento                             | 12 – 16           | 2  |



**Tabla A5.4:** Factores de Obstrucción.

| Temperatura del medio calefactor:                    | Hasta 240°F                |                  | 240 – 400°F                |                  |
|--|----------------------------|------------------|----------------------------|------------------|
| Temperatura del agua:                                | 125°F o menos              |                  | Más de 125°F               |                  |
| Agua   | Velocidad del agua,<br>pps |                  | Velocidad del agua,<br>pps |                  |
|  | 3 pies<br>o menos          | Más de<br>3 pies | 3 pies<br>o menos          | Más de<br>3 pies |
| Agua de Mar:   | 0,0005                     | 0,0005           | 0,001                      | 0,001            |
| Salmuera Natural:                                    | 0,002                      | 0,001            | 0,003                      | 0,002            |
| Torre de Enfriamiento y Tanque con Rocío Artificial: |                            |                  |                            |                  |
| Agua de Compensación Tratada                         | 0,001                      | 0,001            | 0,002                      | 0,002            |
| Sin Tratar   | 0,003                      | 0,003            | 0,005                      | 0,004            |
| Agua de la ciudad o de Pozo                          | 0,001                      | 0,001            | 0,002                      | 0,002            |
| Grandes Lagos  | 0,001                      | 0,001            | 0,002                      | 0,002            |
| Agua de Río:   |                            |                  |                            |                  |
| Mínimo   | 0,002                      | 0,001            | 0,003                      | 0,022            |
| Mississippi  | 0,003                      | 0,002            | 0,004                      | 0,003            |
| Delaware, Schylkill                                  | 0,003                      | 0,002            | 0,004                      | 0,003            |
| East River y New Cork Bay                            | 0,003                      | 0,002            | 0,004                      | 0,003            |
| Canal Sanitario de Chicago                           | 0,008                      | 0,006            | 0,010                      | 0,008            |
| Lodosa o Turbia                                      | 0,003                      | 0,002            | 0,004                      | 0,003            |
| Dura (más de 15 gramos/gal)                          | 0,003                      | 0,003            | 0,005                      | 0,005            |
| Enfriamiento de Máquinas                             | 0,001                      | 0,001            | 0,001                      | 0,001            |
| Destilada  | 0,0005                     | 0,0005           | 0,0005                     | 0,0005           |
| Alimentación tratada para Calderas                   | 0,001                      | 0,0005           | 0,001                      | 0,001            |
| Purga de Calderas                                    | 0,002                      | 0,002            | 0,002                      | 0,002            |

**Tabla A5.5:** Valores aproximados de los Coeficientes de Obstrucción Totales para Diseño. Los valores incluyen un Factor de Obstrucción Total de 0,003.

| <b>ENFRIADORES</b>                        |                    |  |
|---|--------------------|--|
| <b>Fluido Caliente</b>                    | <b>Fluido Frío</b> | <b><math>U_D</math> [BTU/h·pie<sup>2</sup>·°F]</b> |
| Agua                                      | Agua               | 250 – 500  |
| Metanol                                   | Agua               | 250 – 500  |
| Amoniaco                                  | Agua               | 250 – 500  |
| Soluciones Acuosas                        | Agua               | 250 – 500  |
| Sustancias Orgánicas Ligeras <sup>1</sup> | Agua               | 75 – 150   |
| Sustancias Orgánicas Medias <sup>2</sup>  | Agua               | 50 – 125   |
| Sustancias Orgánicas Pesadas <sup>3</sup> | Agua               | 5 – 75   |
| Gases                                     | Agua               | 2 – 75   |
| Agua                                      | Salmuera           | 100 – 200  |
| Sustancias Orgánicas Ligeras              | Salmuera           | 40 – 100   |

| <b>CALENTADORES</b>    |                              |  |
|------------------------|------------------------------|--|
| <b>Fluido Caliente</b> | <b>Fluido Frío</b>           | <b><math>U_D</math> [BTU/h·pie<sup>2</sup>·°F]</b> |
| Vapor de Agua          | Agua                         | 200 – 700  |
| Vapor de Agua          | Metanol                      | 200 – 700  |
| Vapor de Agua          | Amoniaco                     | 200 – 700  |
| Vapor de Agua          | Soluciones Acuosas:          |  |
| Vapor de Agua          | Menos de 2.0 [cp]            | 200 – 700  |
| Vapor de Agua          | Más de 2.0 [cp]              | 100 – 500  |
| Vapor de Agua          | Sustancias Orgánicas Ligeras | 50 – 100   |
| Vapor de Agua          | Sustancias Orgánicas Medias  | 100 – 200  |
| Vapor de Agua          | Sustancias Orgánicas Pesadas | 6 – 60   |
| Vapor de Agua          | Gases                        | 5 – 50   |

**Tabla A5.6:** Valores aproximados de los Coeficientes de Obstrucción Totales para Diseño. Los valores incluyen un Factor de Obstrucción Total de 0,003.

| <b>INTERCAMBIADORES</b>      |                              |  |
|------------------------------|------------------------------|--|
| <b>Fluido Caliente</b>       | <b>Fluido Frío</b>           | <b><math>U_D</math> [BTU/h·pie<sup>2</sup>·°F]</b> |
| Agua                         | Agua                         | 250 – 500  |
| Soluciones Acuosas           | Soluciones Acuosas           | 250 – 500  |
| Sustancias Orgánicas Ligeras | Sustancias Orgánicas Ligeras | 40 – 75  |
| Sustancias Orgánicas Medias  | Sustancias Orgánicas Medias  | 20 – 60  |
| Sust. Orgánicas Pesadas      | Sust. Orgánicas Pesadas      | 10 – 40  |
| Sust. Orgánicas Pesadas      | Sust. Orgánicas Ligeras      | 30 – 60  |
| Sust. Orgánicas Ligeras      | Sust. Orgánicas Pesadas      | 10 – 40  |

<sup>1</sup> Las Sustancias Orgánicas Ligeras son fluidos con viscosidades menores de 0,5 [cp].

<sup>2</sup> Las Sustancias Orgánicas Medias son fluidos con viscosidades entre 0,5 y 1,0 [cp].

<sup>93</sup> Las Sustancias Orgánicas Pesadas son fluidos con viscosidades mayores de 1,0 [cp].

**Tabla A5.7:** Tolerancias de Entrada en la Numeración de Tubos.

| <b>Coraza, DI [pulg]</b> | <b>Boquilla [pulg]</b> |
|--------------------------|------------------------|
| Menos de 12              | 2                      |
| 12 - 17 ¼                | 3                      |
| 19 ¼ - 21 ¼              | 4                      |
| 23 ¼ - 29                | 6                      |
| 31 - 37                  | 8                      |
| Más de 39                | 10                     |

**Tabla A5.8: Datos de Tubos para Condensadores e Inter. de Calor.**

| Tubo DE, plg | BWG   | Espesor de la pared, | DI, plg | Area de flujo por tubo, plg <sup>2</sup> | Superficie por pie lin. pies <sup>2</sup> |          | Peso por pie lineal, lb, de acero |
|--------------|-------|----------------------|---------|--|---|----------|-----------------------------------|
|              |       |                      |         |  | Exterior                                  | Interior |                                   |
| ½            | 12    | 0.109                | 0.282   | 0.0625                                   | 0.1309                                    | 0.0748   | 0.493                             |
|              | 14    | 0.083                | 0.334   | 0.0876                                   |   | 0.0874   | 0.403                             |
|              | 16    | 0.065                | 0.370   | 0.1076                                   |   | 0.0969   | 0.329                             |
|              | 18    | 0.049                | 0.402   | 0.127                                    |   | 0.1052   | 0.258                             |
|              | 20    | 0.035                | 0.430   | 0.145                                    |   | 0.1125   | 0.190                             |
| ¾            | 10    | 0.134                | 0.482   | 0.182                                    | 0.1963                                    | 0.1263   | 0.965                             |
|              | 11    | 0.120                | 0.510   | 0.204                                    |   | 0.1335   | 0.884                             |
|              | 12    | 0.109                | 0.532   | 0.223                                    |   | 0.1393   | 0.817                             |
|              | 13    | 0.095                | 0.560   | 0.247                                    |   | 0.1466   | 0.727                             |
|              | 14    | 0.083                | 0.584   | 0.268                                    |   | 0.1529   | 0.647                             |
|              | 15    | 0.072                | 0.606   | 0.289                                    |   | 0.1587   | 0.571                             |
|              | 16    | 0.065                | 0.620   | 0.302                                    |   | 0.1623   | 0.520                             |
|              | 17    | 0.058                | 0.634   | 0.314                                    |   | 0.1660   | 0.469                             |
|              | 18    | 0.049                | 0.652   | 0.334                                    |   | 0.1707   | 0.401                             |
| 1            | 8     | 0.165                | 0.670   | 0.355                                    | 0.2618                                    | 0.1754   | 1.61                              |
|              | 9     | 0.148                | 0.704   | 0.389                                    |   | 0.1843   | 1.47                              |
|              | 10    | 0.134                | 0.732   | 0.421                                    |   | 0.1916   | 1.36                              |
|              | 11    | 0.120                | 0.760   | 0.455                                    |   | 0.1990   | 1.23                              |
|              | 12    | 0.109                | 0.782   | 0.479                                    |   | 0.2048   | 1.14                              |
|              | 13    | 0.095                | 0.810   | 0.515                                    |   | 0.2121   | 1.00                              |
|              | 14    | 0.083                | 0.834   | 0.546                                    |   | 0.2183   | 0.890                             |
|              | 15    | 0.072                | 0.856   | 0.576                                    |   | 0.2241   | 0.781                             |
|              | 16    | 0.065                | 0.870   | 0.594                                    |   | 0.2277   | 0.710                             |
|              | 17    | 0.058                | 0.884   | 0.613                                    |   | 0.2314   | 0.639                             |
| 18           | 0.049 | 0.902                | 0.639   | 0.2361                                   | 0.545                                     |          |                                   |
| 1¼           | 8     | 0.165                | 0.920   | 0.665                                    | 0.3271                                    | 0.2409   | 2.09                              |
|              | 9     | 0.148                | 0.954   | 0.714                                    |   | 0.2498   | 1.91                              |
|              | 10    | 0.134                | 0.982   | 0.757                                    |   | 0.2572   | 1.75                              |
|              | 11    | 0.120                | 1.01    | 0.800                                    |   | 0.2644   | 1.58                              |
|              | 12    | 0.109                | 1.03    | 0.836                                    |   | 0.2701   | 1.45                              |
|              | 13    | 0.095                | 1.06    | 0.884                                    |   | 0.2775   | 1.28                              |
|              | 14    | 0.083                | 1.08    | 0.923                                    |   | 0.2839   | 1.13                              |
|              | 15    | 0.072                | 1.11    | 0.960                                    |   | 0.2896   | 0.991                             |
|              | 16    | 0.065                | 1.12    | 0.985                                    |   | 0.2932   | 0.900                             |
|              | 17    | 0.058                | 1.13    | 1.01                                     |   | 0.2969   | 0.808                             |
| 18           | 0.049 | 1.15                 | 1.04    | 0.3015                                   | 0.688                                     |          |                                   |
| 1½           | 8     | 0.165                | 1.17    | 1.075                                    | 0.3925                                    | 0.3063   | 2.57                              |
|              | 9     | 0.148                | 1.20    | 1.14                                     |   | 0.3152   | 2.34                              |
|              | 10    | 0.134                | 1.23    | 1.19                                     |   | 0.3225   | 2.14                              |
|              | 11    | 0.120                | 1.26    | 1.25                                     |   | 0.3299   | 1.98                              |
|              | 12    | 0.109                | 1.28    | 1.29                                     |   | 0.3356   | 1.77                              |
|              | 13    | 0.095                | 1.31    | 1.35                                     |   | 0.3430   | 1.56                              |
|              | 14    | 0.083                | 1.33    | 1.40                                     |   | 0.3492   | 1.37                              |
|              | 15    | 0.072                | 1.36    | 1.44                                     |   | 0.3555   | 1.20                              |
|              | 16    | 0.065                | 1.37    | 1.47                                     |   | 0.3587   | 1.09                              |
|              | 17    | 0.058                | 1.38    | 1.50                                     |   | 0.3623   | 0.978                             |
| 18           | 0.049 | 1.40                 | 1.54    | 0.3670                                   | 0.831                                     |          |                                   |

**Tabla A5.9: Disposición de los Espejos de Tubos. Arreglo en Cuadro.**

| Tubos de ¾" DE, arreglo en cuadro de 1 plg |      |      |     |     |     | Tubos de 1" DE, arreglo en cuadro de 1¼ plg |     |     |     |     |     |
|--|------|------|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| Coraza DI, plg                             | 1-P  | 2-P  | 4-P | 6-P | 8-P | Coraza DI, plg                              | 1-P | 2-P | 4-P | 6-P | 8-P |
| 8  | 32   | 26   | 20  | 20  |     | 8   | 21  | 16  | 14  |     |     |
| 10   | 52   | 52   | 40  | 36  |     | 10  | 32  | 32  | 26  | 24  |     |
| 12   | 81   | 76   | 68  | 68  | 60  | 12  | 48  | 45  | 40  | 38  | 36  |
| 13¼  | 97   | 90   | 82  | 76  | 70  | 13¼   | 61  | 56  | 52  | 48  | 44  |
| 15¼  | 137  | 124  | 116 | 108 | 108 | 15¼   | 81  | 76  | 68  | 68  | 64  |
| 17¼  | 177  | 166  | 158 | 150 | 142 | 17¼   | 112 | 112 | 96  | 90  | 82  |
| 19¼  | 224  | 220  | 204 | 192 | 188 | 19¼   | 138 | 132 | 128 | 122 | 116 |
| 21¼  | 277  | 270  | 246 | 240 | 234 | 21¼   | 177 | 166 | 158 | 152 | 148 |
| 23¼  | 341  | 324  | 308 | 302 | 292 | 23¼   | 213 | 208 | 192 | 184 | 184 |
| 25   | 413  | 394  | 370 | 356 | 346 | 25  | 260 | 252 | 238 | 226 | 222 |
| 27   | 481  | 460  | 432 | 420 | 408 | 27  | 300 | 288 | 278 | 268 | 260 |
| 29   | 553  | 526  | 480 | 468 | 456 | 29  | 341 | 326 | 300 | 294 | 286 |
| 31   | 657  | 640  | 600 | 580 | 560 | 31  | 406 | 398 | 380 | 368 | 358 |
| 33   | 749  | 718  | 688 | 676 | 648 | 33  | 465 | 460 | 432 | 420 | 414 |
| 35   | 845  | 824  | 780 | 766 | 748 | 35  | 522 | 518 | 488 | 484 | 472 |
| 37   | 934  | 914  | 886 | 866 | 838 | 37  | 596 | 574 | 562 | 544 | 532 |
| 39   | 1049 | 1024 | 982 | 968 | 948 | 39  | 665 | 644 | 624 | 612 | 600 |

| Tubos de 1¼" DE, arreglo en cuadro de 1⅞ plg |     |     |     |     |     | Tubos de 1½" DE, arreglo en cuadro de 1⅞ plg |     |     |     |     |     |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|--|-----|-----|-----|-----|-----|
| 10   | 16  | 12  | 10  |     |     | 12   | 16  | 16  | 12  |     |     |
| 12   | 30  | 24  | 22  | 16  | 16  | 12   | 16  | 16  | 12  |     |     |
| 13¼  | 32  | 30  | 30  | 22  | 22  | 13¼  | 22  | 22  | 16  |     |     |
| 15¼  | 44  | 40  | 37  | 35  | 31  | 15¼  | 29  | 29  | 25  | 24  | 22  |
| 17¼  | 56  | 53  | 51  | 48  | 44  | 17¼  | 39  | 39  | 34  | 32  | 29  |
| 19¼  | 78  | 73  | 71  | 64  | 56  | 19¼  | 50  | 48  | 45  | 43  | 39  |
| 21¼  | 96  | 90  | 86  | 82  | 78  | 21¼  | 62  | 60  | 57  | 54  | 50  |
| 23¼  | 127 | 112 | 106 | 102 | 96  | 23¼  | 78  | 74  | 70  | 66  | 62  |
| 25   | 140 | 135 | 127 | 123 | 115 | 25   | 94  | 90  | 86  | 84  | 78  |
| 27   | 166 | 160 | 151 | 146 | 140 | 27   | 112 | 108 | 102 | 98  | 94  |
| 29   | 193 | 188 | 178 | 174 | 166 | 29   | 131 | 127 | 120 | 116 | 112 |
| 31   | 226 | 220 | 209 | 202 | 193 | 31   | 151 | 146 | 141 | 138 | 131 |
| 33   | 258 | 252 | 244 | 238 | 226 | 33   | 176 | 170 | 164 | 160 | 151 |
| 35   | 293 | 287 | 275 | 268 | 258 | 35   | 202 | 196 | 188 | 182 | 176 |
| 37   | 334 | 322 | 311 | 304 | 293 | 37   | 224 | 220 | 217 | 210 | 202 |
| 39   | 370 | 362 | 348 | 342 | 336 | 39   | 252 | 246 | 237 | 230 | 224 |

**Tabla A5.10: Disposición de los Espejos de Tubos. Arreglo Triangular.**

| Tubos de 3/4" DE, arreglo triangular de 15/16 plg   |      |      |      |      |      | Tubos de 3/4" DE, arreglo triangular de 1 plg         |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|---|------|------|------|------|------|
| Coraza DI, plg                                      | 1-P  | 2-P  | 4-P  | 6-P  | 8-P  | Coraza DI, plg  | 1-P  | 2-P  | 4-P  | 6-P  | 8-P  |
| 8   | 36   | 32   | 26   | 24   | 18   | 8   | 37   | 30   | 24   | 24   |      |
| 10  | 62   | 56   | 47   | 42   | 36   | 10  | 61   | 52   | 40   | 36   |      |
| 12  | 109  | 98   | 86   | 82   | 78   | 12  | 92   | 82   | 76   | 74   | 70   |
| 13 1/4  | 127  | 114  | 96   | 90   | 86   | 13 1/4  | 109  | 106  | 86   | 82   | 74   |
| 15 1/4  | 170  | 160  | 140  | 136  | 128  | 15 1/4  | 151  | 138  | 122  | 118  | 110  |
| 17 1/4  | 239  | 224  | 194  | 188  | 178  | 17 1/4  | 203  | 196  | 178  | 172  | 166  |
| 19 1/4  | 301  | 282  | 252  | 244  | 234  | 19 1/4  | 262  | 250  | 226  | 216  | 210  |
| 21 1/4  | 361  | 342  | 314  | 306  | 290  | 21 1/4  | 316  | 302  | 278  | 272  | 260  |
| 23 1/4  | 442  | 420  | 386  | 378  | 364  | 23 1/4  | 384  | 376  | 352  | 342  | 328  |
| 25  | 532  | 506  | 468  | 446  | 434  | 25  | 470  | 452  | 422  | 394  | 382  |
| 27  | 637  | 602  | 550  | 536  | 524  | 27  | 559  | 534  | 488  | 474  | 464  |
| 29  | 721  | 692  | 640  | 620  | 594  | 29  | 630  | 604  | 556  | 538  | 508  |
| 31  | 847  | 822  | 766  | 722  | 720  | 31  | 745  | 728  | 678  | 666  | 640  |
| 33  | 974  | 938  | 878  | 852  | 826  | 33  | 856  | 830  | 774  | 760  | 732  |
| 35  | 1102 | 1068 | 1004 | 988  | 958  | 35  | 970  | 938  | 882  | 864  | 848  |
| 37  | 1240 | 1200 | 1144 | 1104 | 1072 | 37  | 1074 | 1044 | 1012 | 986  | 870  |
| 39  | 1377 | 1330 | 1258 | 1248 | 1212 | 39  | 1206 | 1176 | 1128 | 1100 | 1078 |
| Tubos de 1" DE, arreglo triangular de 1 1/4 plg     |      |      |      |      |      | Tubos de 1 1/4" DE, arreglo triangular de 1 9/16" plg |      |      |      |      |      |
| 8   | 21   | 16   | 16   | 14   |      | 10  | 20   | 18   | 14   |      |      |
| 10  | 32   | 32   | 26   | 24   |      | 12  | 32   | 30   | 26   | 22   | 20   |
| 12  | 55   | 52   | 48   | 46   | 44   | 13 1/4  | 38   | 36   | 32   | 28   | 26   |
| 13 1/4  | 68   | 66   | 58   | 54   | 50   | 15 1/4  | 54   | 51   | 45   | 42   | 38   |
| 15 1/4  | 91   | 86   | 80   | 74   | 72   | 17 1/4  | 69   | 66   | 62   | 58   | 54   |
| 17 1/4  | 131  | 118  | 106  | 104  | 94   | 19 1/4  | 95   | 91   | 86   | 78   | 69   |
| 19 1/4  | 163  | 152  | 140  | 136  | 128  | 21 1/4  | 117  | 112  | 105  | 101  | 95   |
| 21 1/4  | 199  | 188  | 170  | 164  | 160  | 23 1/4  | 140  | 136  | 130  | 123  | 117  |
| 23 1/4  | 241  | 232  | 212  | 212  | 202  | 25  | 170  | 164  | 155  | 150  | 140  |
| 25  | 294  | 282  | 256  | 252  | 242  | 27  | 202  | 196  | 185  | 179  | 170  |
| 27  | 349  | 334  | 302  | 296  | 286  | 29  | 235  | 228  | 217  | 212  | 202  |
| 29  | 397  | 376  | 338  | 334  | 316  | 31  | 275  | 270  | 255  | 245  | 235  |
| 31  | 472  | 454  | 430  | 424  | 400  | 33  | 315  | 305  | 297  | 288  | 275  |
| 33  | 538  | 522  | 486  | 470  | 454  | 35  | 357  | 348  | 335  | 327  | 315  |
| 35  | 608  | 592  | 562  | 546  | 532  | 37  | 407  | 390  | 380  | 374  | 357  |
| 37  | 674  | 664  | 632  | 614  | 598  | 39  | 449  | 436  | 425  | 419  | 407  |
| 39  | 766  | 736  | 700  | 688  | 672  |   |      |      |      |      |      |
| Tubos de 1 1/2" DE, arreglo triangular de 1 7/8 plg |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |
| 12  | 18   | 14   | 14   | 12   | 12   |   |      |      |      |      |      |
| 13 1/4  | 27   | 22   | 18   | 16   | 14   |   |      |      |      |      |      |
| 15 1/4  | 36   | 34   | 32   | 30   | 27   |   |      |      |      |      |      |
| 17 1/4  | 48   | 44   | 42   | 38   | 36   |   |      |      |      |      |      |
| 19 1/4  | 61   | 58   | 55   | 51   | 48   |   |      |      |      |      |      |
| 21 1/4  | 76   | 72   | 70   | 66   | 61   |   |      |      |      |      |      |
| 23 1/4  | 95   | 91   | 86   | 80   | 76   |   |      |      |      |      |      |
| 25  | 115  | 110  | 105  | 98   | 95   |   |      |      |      |      |      |
| 27  | 136  | 131  | 125  | 118  | 115  |   |      |      |      |      |      |
| 29  | 160  | 154  | 147  | 141  | 136  |   |      |      |      |      |      |
| 31  | 184  | 177  | 172  | 165  | 160  |   |      |      |      |      |      |
| 33  | 215  | 206  | 200  | 190  | 184  |   |      |      |      |      |      |
| 35  | 246  | 238  | 230  | 220  | 215  |   |      |      |      |      |      |
| 37  | 275  | 268  | 260  | 252  | 246  |   |      |      |      |      |      |
| 39  | 307  | 299  | 290  | 284  | 275  |   |      |      |      |      |      |

**Tabla A5.11:** Tolerancias de Entrada en la Numeración de Tubos.

| <b>Coraza, DI [pulg]</b> | <b>Boquilla [pulg]</b> |
|--------------------------|------------------------|
| Menos de 12              | 2                      |
| 12 - 17 ¼                | 3                      |
| 19 ¼ - 21 ¼              | 4                      |
| 23 ¼ - 29                | 6                      |
| 31 - 37                  | 8                      |
| Más de 39                | 10                     |



**Tabla A5.12:** Clasificación de Cabezales.

| <b>Tipo de Cabezal</b> | <b>Rango de Presión de Diseño [psi]</b> |
|------------------------|---|
| Cónico                 | $P_i < 50$                              |
| Toriesférico           | $14,7 < P_i < 200$                      |
| Elíptico               | $100 < P_i < 500$                       |
| Semiesférico           | $P_i > 500$                             |

**Tabla A5.13:** Datos de Equilibrio Entre  $SO_2$  y  $H_2O$ .

| $P_p SO_2 [mm Hg]$ | $lb_m SO_2 / 100 lb_m H_2O$ |
|--------------------|-----------------------------|
| 700,00             | 4,00                        |
| 458,00             | 2,50                        |
| 340,00             | 2,00                        |
| 266,00             | 1,50                        |
| 172,00             | 1,00                        |
| 116,00             | 0,70                        |
| 82,00              | 0,50                        |
| 31,00              | 0,20                        |
| 12,00              | 0,10                        |

**Figura A5.1:** Rugosidad Relativa para Tuberías de Materiales Comunes Utilizados en la Ingeniería.

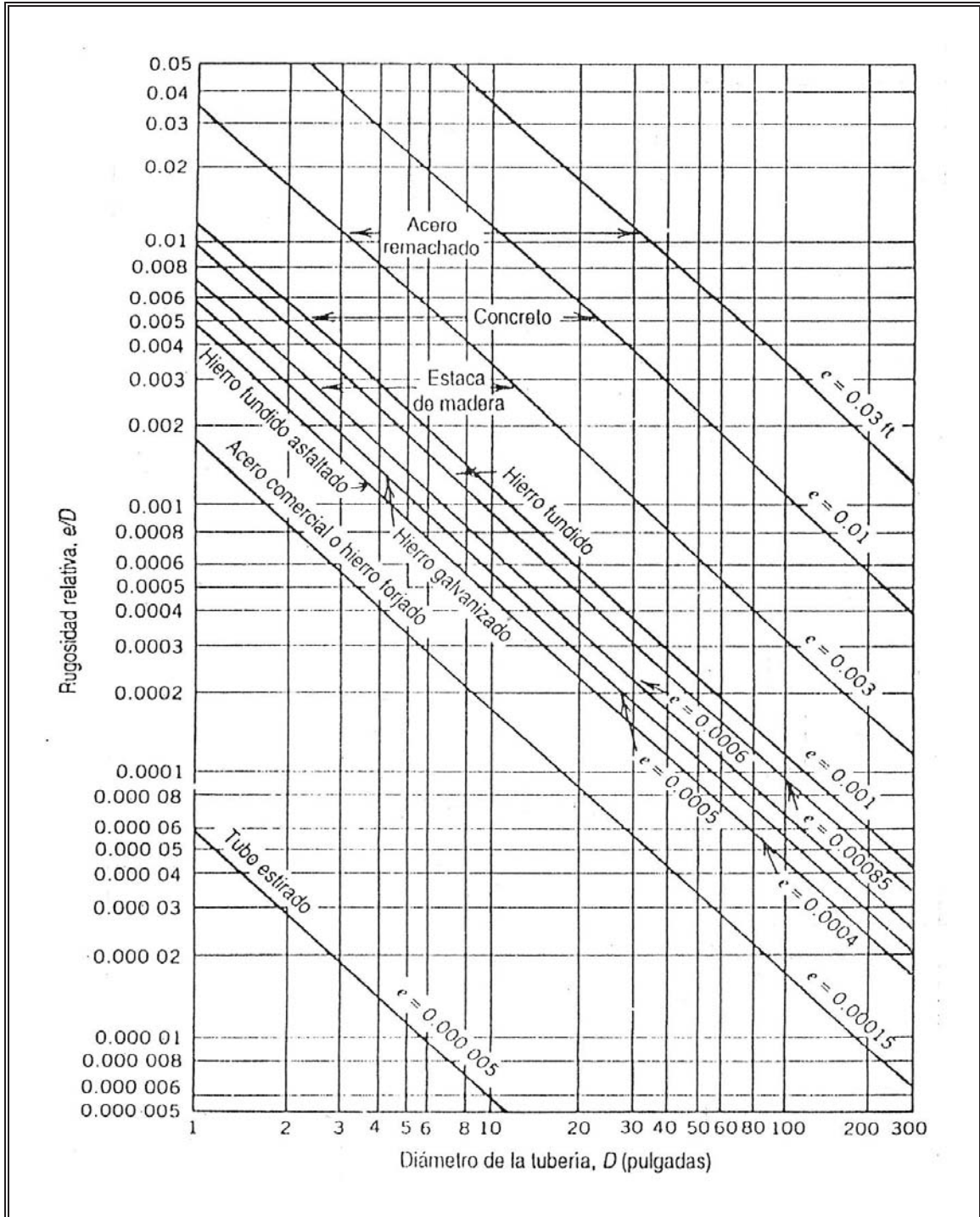


Figura A5.2: Curva del Factor de Fricción.

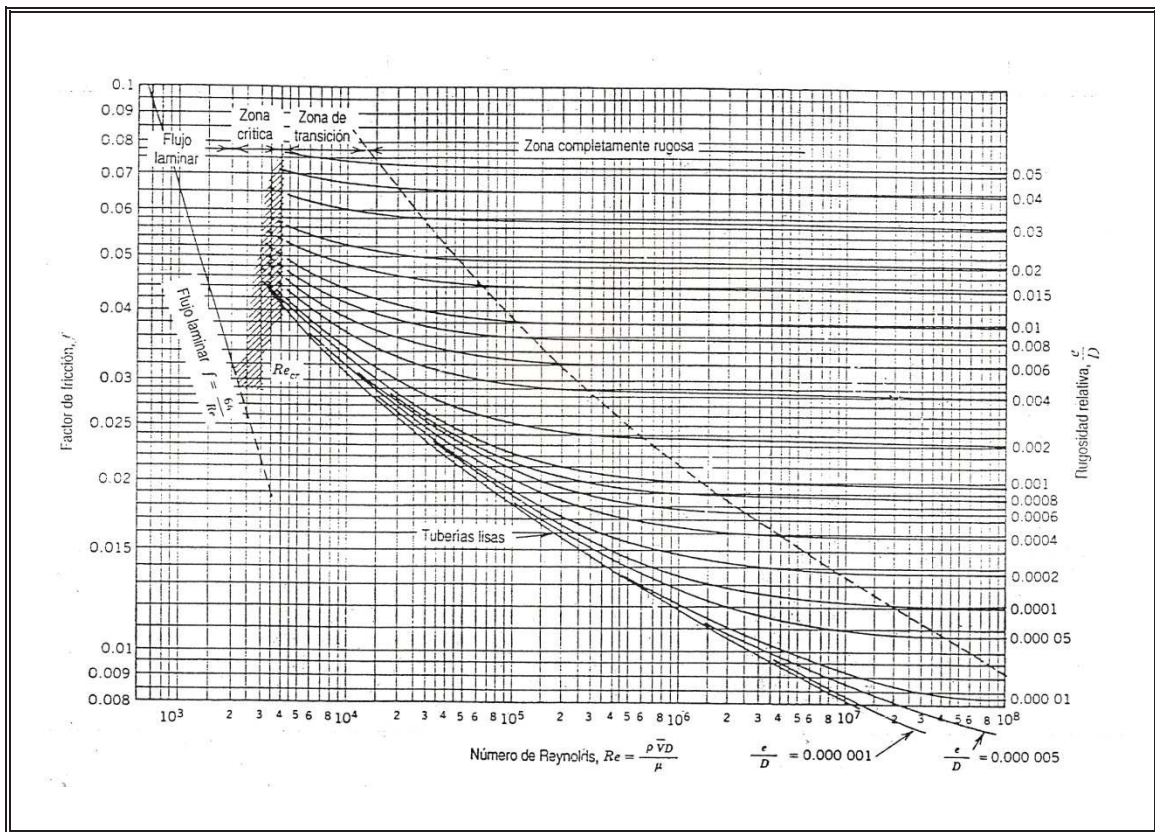


Figura A5.3: Factores para Uso en Ecuaciones Adiabáticas.

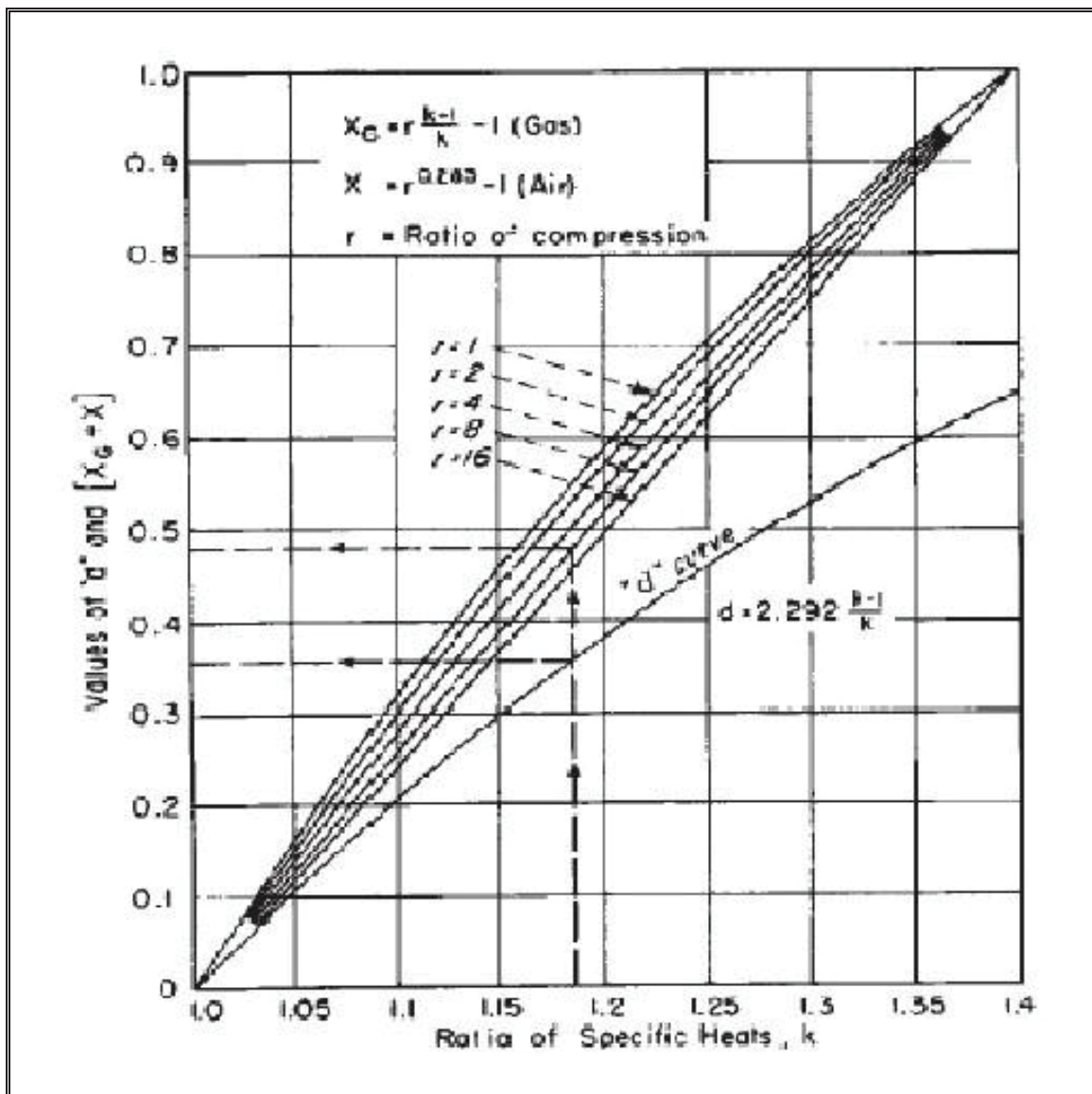


Figura A5.4: Pérdida de Presión por Retorno, Lado de Tubos.

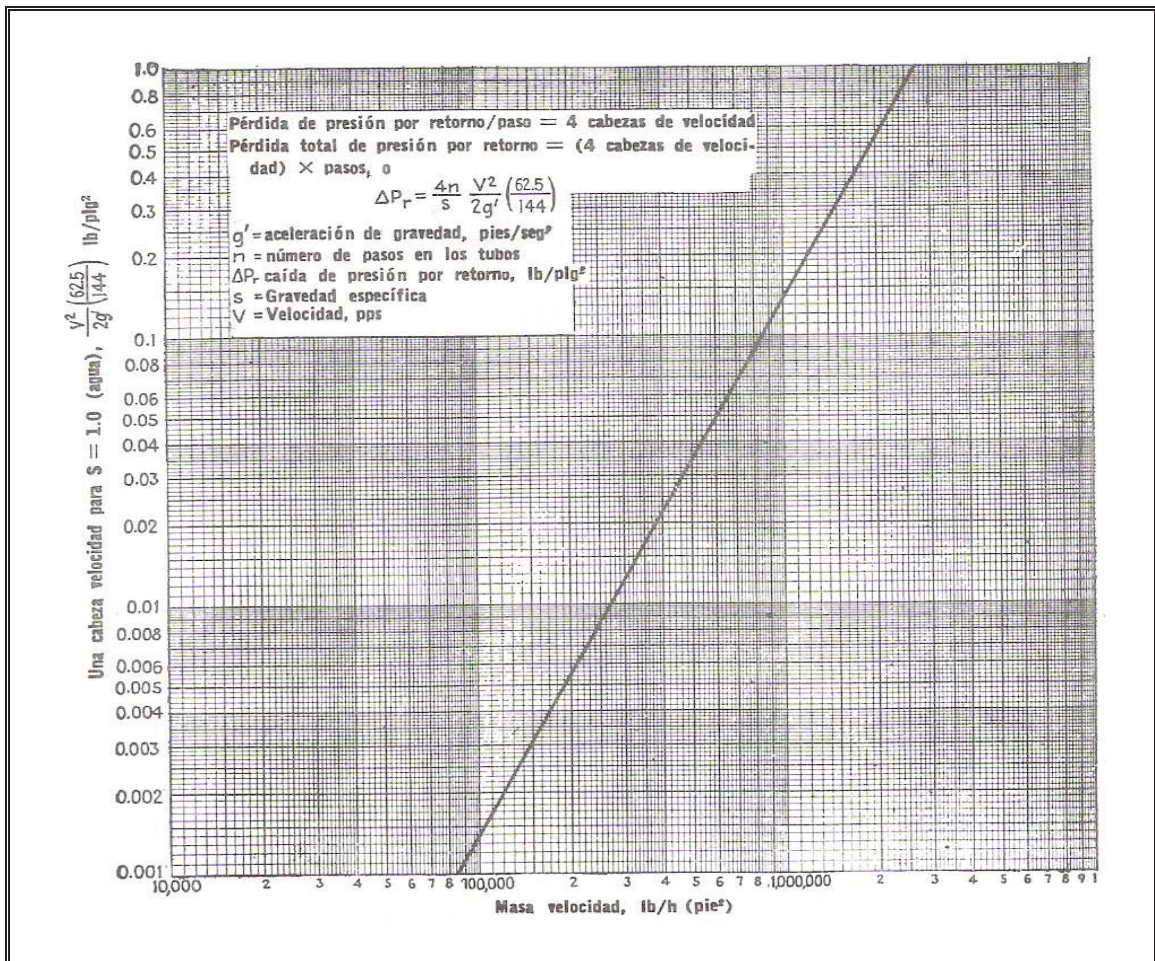
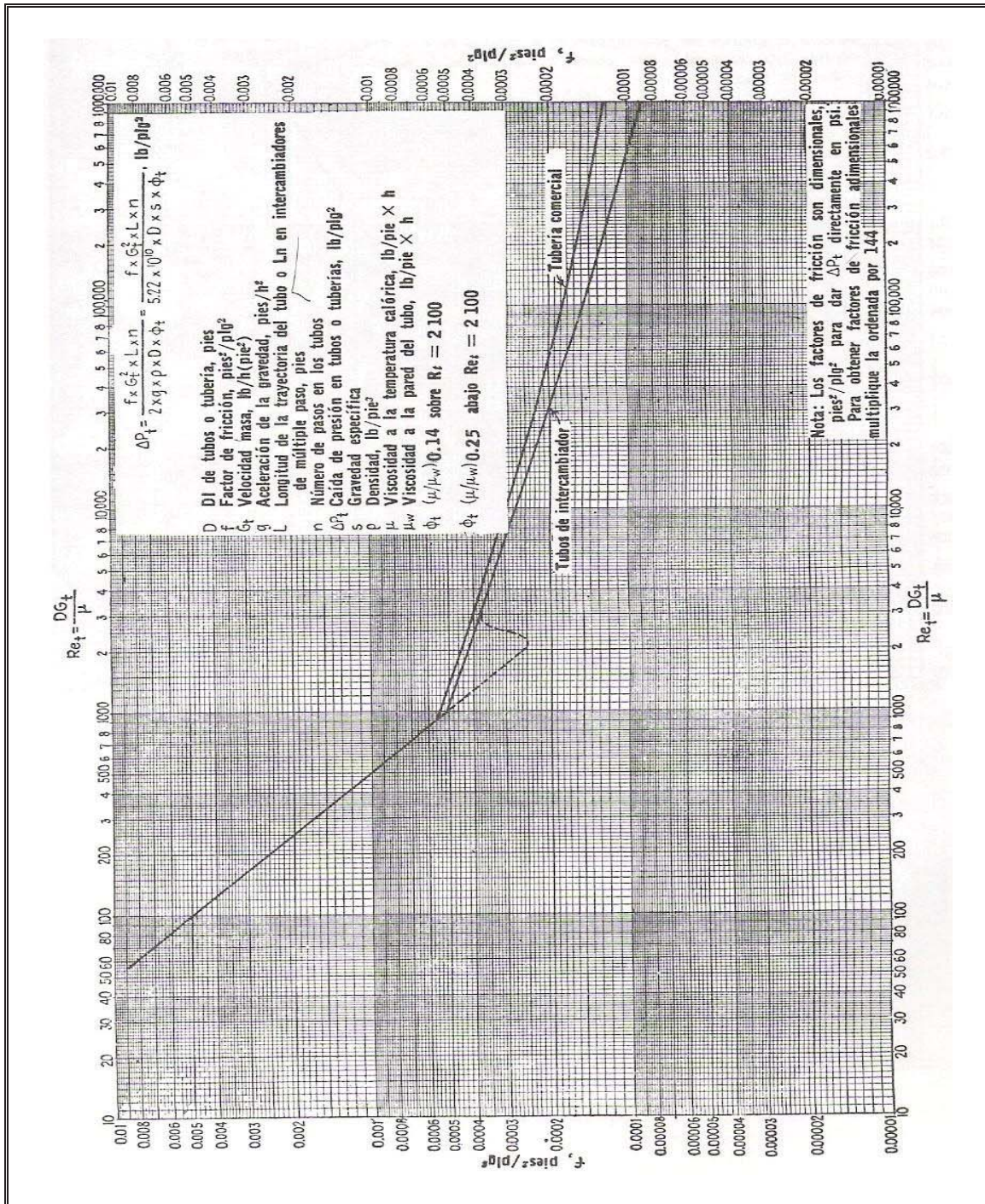


Figura A5.5: Factores de Fricción, para Lado de Tubo.



**Figura A5.6:** Factores de Fricción Lado de la Carcaza, para haces de Tubos con Deflectores Segmentados 25%.

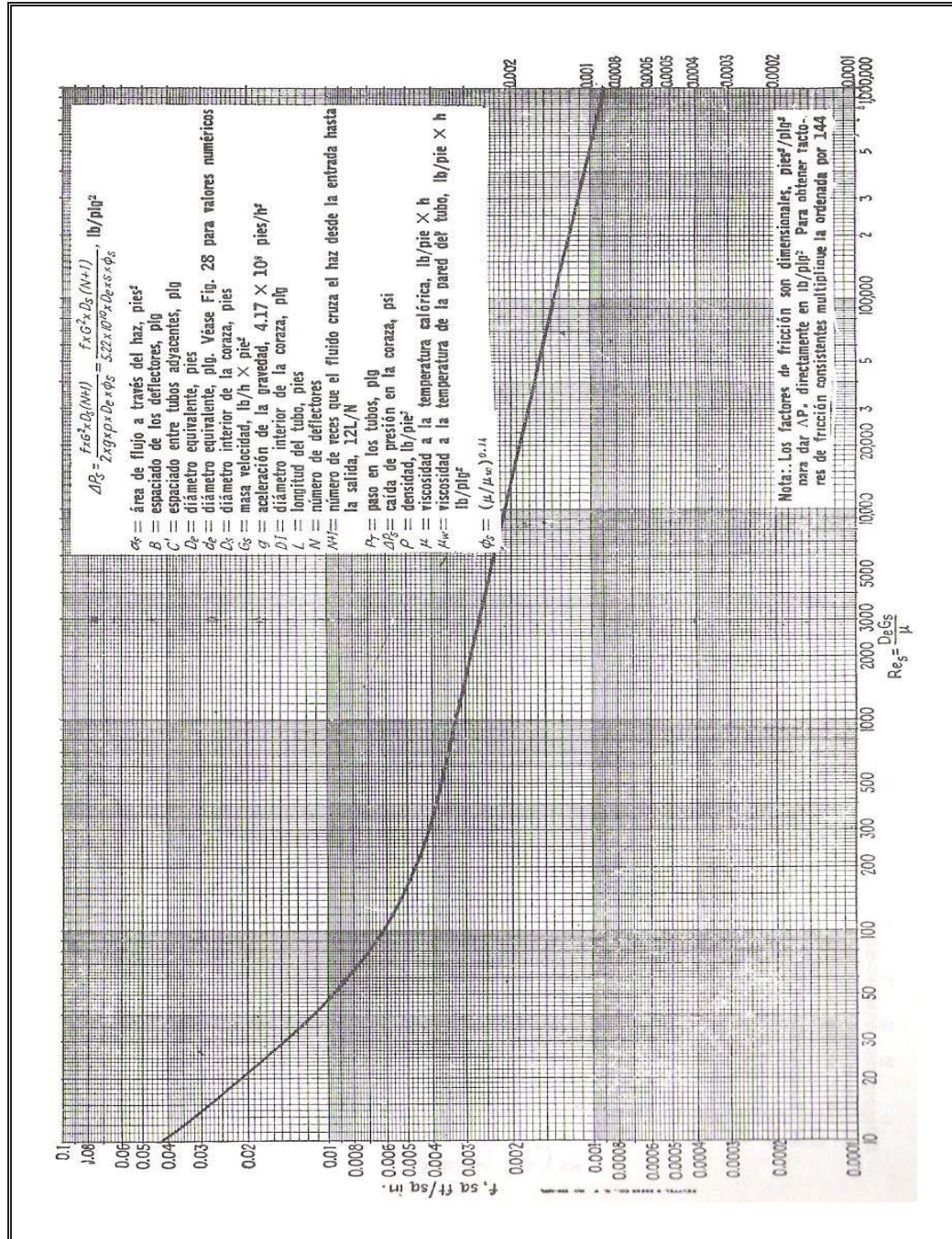
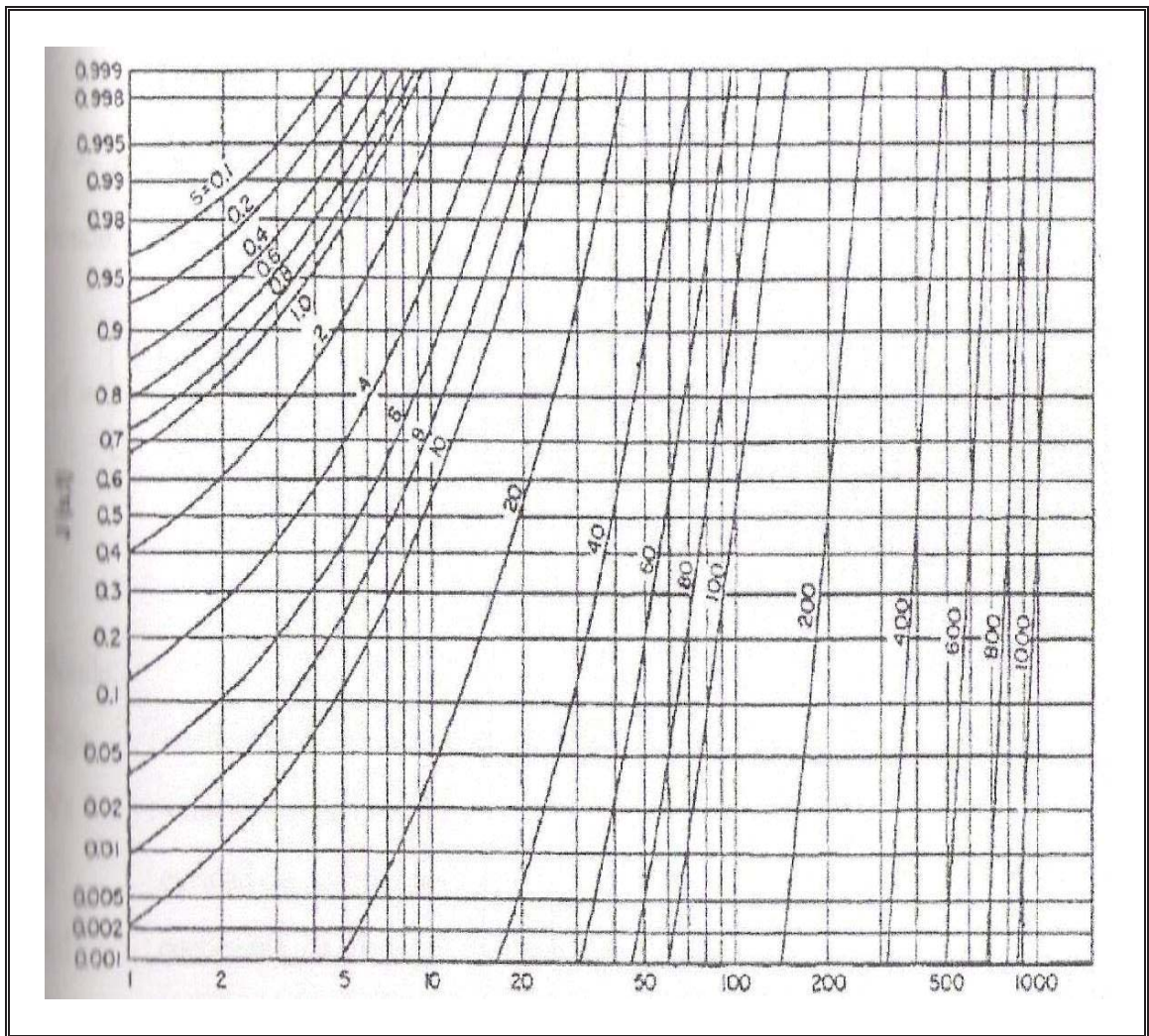
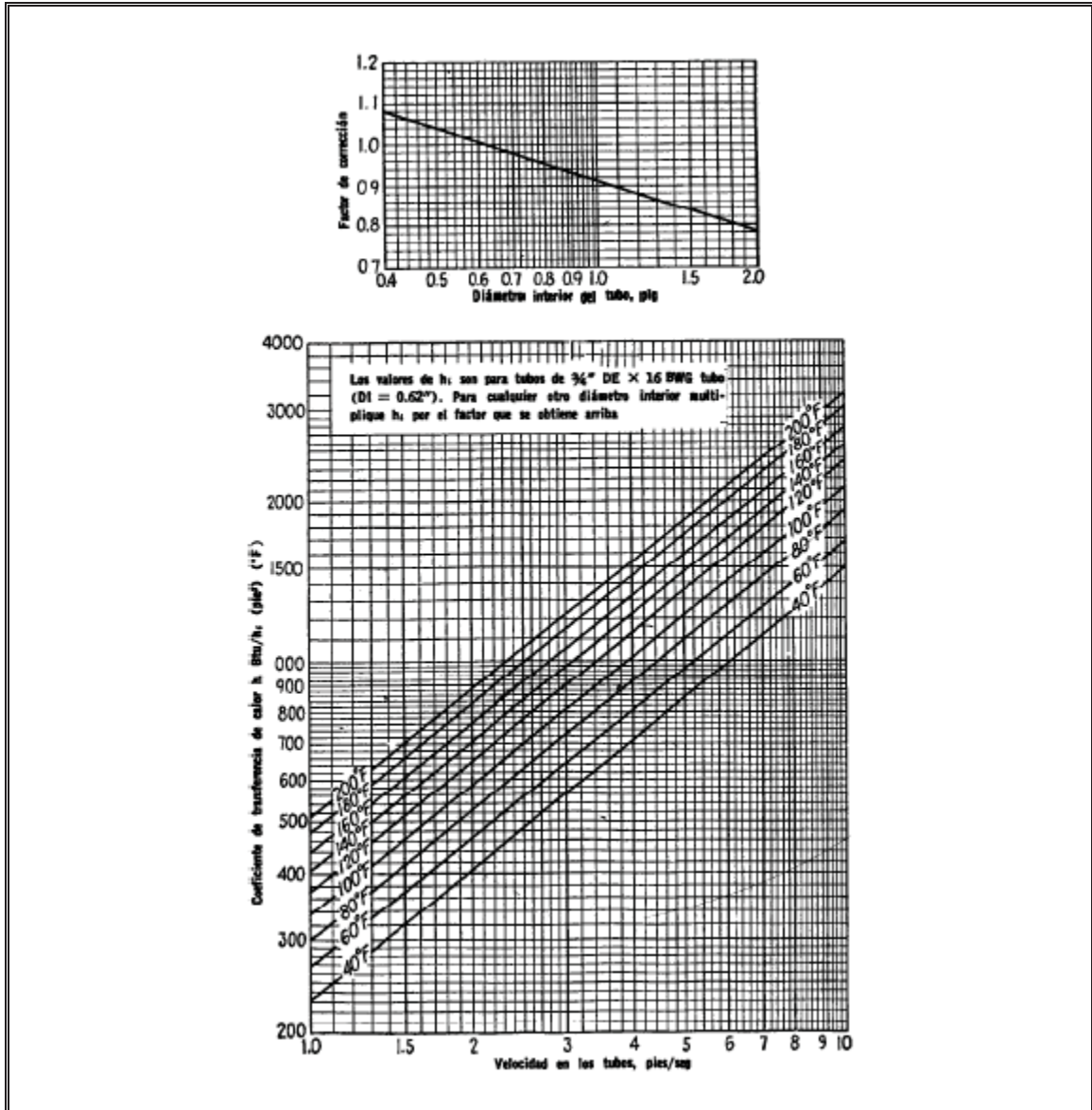




Figura A5.7: Gráfico de Hougen.



**Figura A5.8:** Curva de transferencia de calor, agua en los tubos.  
 [Adaptada Eagk y Fergusm, Proc Rog., Soc. A127, 540 (1930)]



## ***ANEXO VI***

### ***- Ubicación y Organización de la Planta -***

## **A6.1 Organización de la Planta**

### **A6.1.1 Introducción**

En toda empresa es necesario dar una estructuración y equilibrio, tanto en la gestión del personal como en la producción. Para tal efecto, se desarrolla un organigrama que da a conocer las partes más relevantes que la conforman, siendo éstas la organización del personal y las operaciones realizadas en la planta, incluyendo la función administrativa: oficina y equipamiento; personal y sus remuneraciones; ejecutivos, profesionales, administrativos y operarios; y la distribución en planta de equipos, instalaciones y oficinas.

Por su parte, la organización de una empresa es la estructuración técnica de las relaciones que deben existir entre las funciones, niveles y actividades de los componentes materiales y humanos de un organismo social, con el fin de lograr su máxima eficiencia dentro de los planos y objetivos que se quiere alcanzar. La organización toma en cuenta la creación de una estructura en la que se distingue claramente una jerarquía en diferentes niveles, exponiéndose con claridad las funciones de cada uno de los elementos que la forma. Es importante tener en cuenta ciertos factores que influyen en un organismo, tales como:

1. Los costos y la estructura de la parte organizacional, ya que estos juegan un rol fundamental en la factibilidad del proyecto.
2. El tamaño de la estructura organizativa está sujeta a economías de escala, puesto que el número de personas encargadas de la administración crece en forma menos que proporcional al aumento del tamaño de la organización.

### **A6.1.2 Aspectos Generales**

El sentido de organizar es agrupar actividades necesarias para alcanzar ciertos objetivos, asignar a cada equipo de trabajo un administrador con la autoridad y competencia técnica y social necesarias para supervisarlos. Coordinar en un sentido humano y en concordancia con los planes de producción, gestión y desarrollo en las distintas divisiones de la empresa, de una visión horizontal que permita la interacción directa y espontánea en todo el equipo humano y en un sentido vertical que permita delegar responsabilidades conducidas hacia la obtención de logros y objetivos de la empresa.

Así, una estructura organizacional debe estar diseñada de manera que sea perfectamente clara su función, para todos quienes trabajen en ella, y deban realizar tareas específicas encomendadas dentro de su calidad profesional, haciéndose responsable por sus resultados. Es así, como la organización de la empresa se realizará mediante una división de departamentos de actividades, distribuyendo cargos y responsabilidades dentro de cada uno de los departamentos, según la función que estos ocupen dentro del proceso de producción.

### **A6.1.3 Estructura por Departamentos**

El proceso productivo es complejo en todo su rango, desde la llegada de las materias primas, hasta la salida del producto final, principalmente se necesita personal técnico calificado, para estar encargado de que las tareas programadas se cumplan de manera eficiente, además se necesita personal que supervise y lleve a cabo las actividades de la planta. El término departamento designa un área, división o rama distintiva de una empresa, en la que un administrador tiene autoridad sobre la ejecución de actividades específicas. Antes de mencionar la organización por departamentos se debe nombrar la Gerencia General, la cual es el pilar de la

empresa encargado de planear, organizar, dirigir, coordinar y controlar las actividades de las demás áreas, y tiene por objetivo ciertas funciones primordiales tales como:

1. Cumplir con desarrollar una empresa siempre más próspera y cumplir la totalidad de los objetivos impuestos para robustecer el plan de negocios.
2. Distribuir, adjudicar encargos y actividades con el fin de alcanzar las metas propuestas.
3. Generar un clima organizacional de compromiso y seguridad, que permitan un ambiente de calidez y de cumplimiento de objetivos.
4. Motivar positivamente a cada uno de los departamentos, entregando recursos suficientes para su buen desempeño, con el objetivo de que logren una máxima eficiencia en las tareas desempeñadas y validen sus resultados.

El Gerente General estará encargado de la administración general y de las decisiones que se deban tomar desde la perspectiva del negocio. Su perfil será el de un ingeniero civil industrial y/o químico que posea conocimientos integrales de gestión, análisis de proceso y evaluación económica y financiera. La planta de Carbón Activado, se dividirá básicamente en cuatro departamentos:

1. Departamento de Administración.
2. Departamento de Operación y Logística.
3. Departamento de Producción.
4. Departamento de Control de Calidad y Desarrollo.

#### **A6.1.4 Departamentos de Administración**

El departamento de Administración y Finanzas se encarga de la labor administrativa y financiera de la empresa, para lo cual cuenta con un sistema computacional de contabilidad e información financiera en línea con los bancos con los cuales opera. A su cargo están las funciones financieras y de contabilidad, las que involucran la obtención, custodia e inversión de fondos; la contabilidad general de la empresa; créditos, cobranzas y auditorías. Es indispensable para esto, tener algún enlace entre el encargado de créditos y el departamento de ventas.

Entre sus objetivos se encuentra el desarrollar y establecer los mecanismos que permitan satisfacer al menor costo y en forma oportuna las demandas que realizan las distintas unidades de la empresa. Este departamento controla, guía y dirige los siguientes sub – departamentos:

##### **1. Ventas y Adquisiciones:**

Su tarea es realizar las compras para proveer a la empresa de los materiales y demás provisiones (equipos, repuestos, suministros, etc.) requeridos cuando y donde sean necesarios a un precio acorde con las condiciones prevalecientes. El departamento de ventas, es el encargado de persuadir a un mercado de la existencia de un producto, valiéndose de su fuerza de ventas o de intermediarios, aplicando las técnicas y políticas de ventas acordes con el producto que se desea vender.

Dentro del departamento de ventas y adquisiciones se incluye el Marketing, el cual se encarga de desarrollar las políticas de promoción y venta de los productos que comercializa la empresa, los cuales se desarrollan a nivel nacional mediante televisión, radio, publicidad en las calles, afiches, a través de distribuidores, etc. Su tarea es determinar el mercado que se desea para el producto, los métodos

para crear demanda, los canales de distribución a emplear, y varias combinaciones de ellos, entre otros.

## 2. **Recursos Humanos:**

Los Recursos Humanos son todas aquellas personas que integran o forman parte de una organización. Su finalidad es conseguir y conservar un grupo humano de trabajo cuyas características vayan de acuerdo con los objetivos de la empresa, a través de programas adecuados de reclutamiento, selección, capacitación y desarrollo. Debe contribuir de manera positiva al desempeño eficiente de la función económica de la empresa, con el objetivo de conseguir el desarrollo máximo del individuo, buenas relaciones de trabajo entre patrones y empleados, y aprovechar eficientemente los recursos humanos. Se encarga de la contratación de personal adecuado y su capacitación para desempeñar tareas específicas. Debe velar por el cumplimiento de los deberes y obligaciones de los trabajadores. Sus Funciones se resumen en:

- Suministrar mano de obra adecuada, realizando la contratación, selección, colocación, ascensos y jubilaciones del personal de la empresa.
- Preparar y Capacitar. Entregando una introducción al trabajo, enseñanza y preparación de jefes, programas especiales para graduados técnicos y otros empleados selectos y educación industrial en general.
- Mantener relaciones colectivas satisfactorias.
- Planeación de Recursos Humanos. Realizando periódicamente una auditoria de los mismos para ver si están desempeñando satisfactoriamente sus labores, pudiendo rotar a los que considere inapropiados para dicho puesto.
- Crear un plan estratégico de incentivos, bonos, becas o beneficios en general, que se dirijan a consolidar las relaciones entre el trabajador y la



empresa, además creando capital humano con un alto nivel de profesionalismo técnico y humano.

### 3. **Finanzas:**

Esta área se encarga de la obtención de fondos y del suministro del capital que se utiliza en el funcionamiento de la empresa, procurando disponer con los medios económicos necesarios para cada uno de los departamentos, con el objeto de que puedan funcionar debidamente.

Su tarea es controlar el estado de los activos y pasivos, como también el estado de pérdidas y ganancias de la empresa. Para ello debe tomar importantes decisiones, las que muchas veces son apoyadas por el área de ventas. El área de finanzas tiene implícito el objetivo del máximo aprovechamiento y administración de los recursos financieros.

## **A6.1.5 Departamento de Producción**

### 1. **Producción:**

Tradicionalmente considerado como uno de los departamentos más importantes, ya que formula y desarrolla los métodos más adecuados para la elaboración de los productos y/o servicios, al suministrar y coordinar: mano de obra, equipo, instalaciones, materiales, y herramientas requeridas.

Este departamento es el motor de la compañía siendo el encargado de la elaboración, envasado, control, almacenamiento y despacho de los productos con que cuenta la empresa. Se encarga de controlar los procesos de transformación de las materias primas hasta la obtención de los productos finales. Una de sus labores

más importantes es el planteamiento de las órdenes: control de inventario, programación y preparación de los presupuestos de producción. El jefe de planta estará encargado de que las tareas programadas se cumplan, encargado de supervisar el buen funcionamiento de la planta, los plazos y las adquisiciones de materia prima. Su perfil será de un ingeniero, idealmente químico de manera de aportar en las decisiones relacionadas con la producción. Debe tener alto poder de mando y ser capaz de tomar decisiones ante situaciones imprevistas. Además deberá entregar informes de actividad y desempeño de la planta a gerencia.

Los jefes de turno estarán encargados de supervisar en cada turno el buen funcionamiento de la planta, encargado de la supervisión de los operadores, entre otras labores. Su perfil será de un técnico o un ingeniero en ejecución, idealmente en química que sea capaz de mantener orden y tomar decisiones en cada turno.

Los operadores se encargarán de las operaciones de la producción, y de realizar las labores como funcionamiento y control de las maquinarias, transporte de material, entre otros. Además, en conjunto con el departamento de finanzas debe supervisar el abastecimiento de materias primas para la producción, tratando de obtener la mayor calidad al menor costo. El departamento de Producción debe trabajar en conjunto con todas las áreas de la empresa, ya que de esta dependen las siguientes sub divisiones: Operaciones y Logística y Mantenimiento.

## 2. **Operación y Logística:**

El departamento de Operaciones y Logística tiene por objetivo desarrollar, implementar, dirigir y gestionar los recursos que se requieren para el desarrollo de la empresa, entregándolos de forma oportuna y al mas bajo costo para que el departamento de producción. Este departamento deberá estar a cargo de adquisiciones y abastecimiento, entregando los insumos y/o materia primas en los plazos estipulados.

### 3. **Mantenición:**

Se encarga de la mantención mecánica y eléctrica de los equipos y lugares de trabajo. Este mantenimiento involucra: generación y distribución de fuerza motriz, transporte en planta, mantenimiento de equipos y herramientas del terreno, edificios e instalaciones de maquinaria. Debe realizar las inspecciones de los materiales, equipos y los lugares de trabajo. El mantenimiento, también se ocupa de la seguridad de todo el personal que trabaja en la planta.

#### **A6.1.6 Departamento de Calidad y Desarrollo**

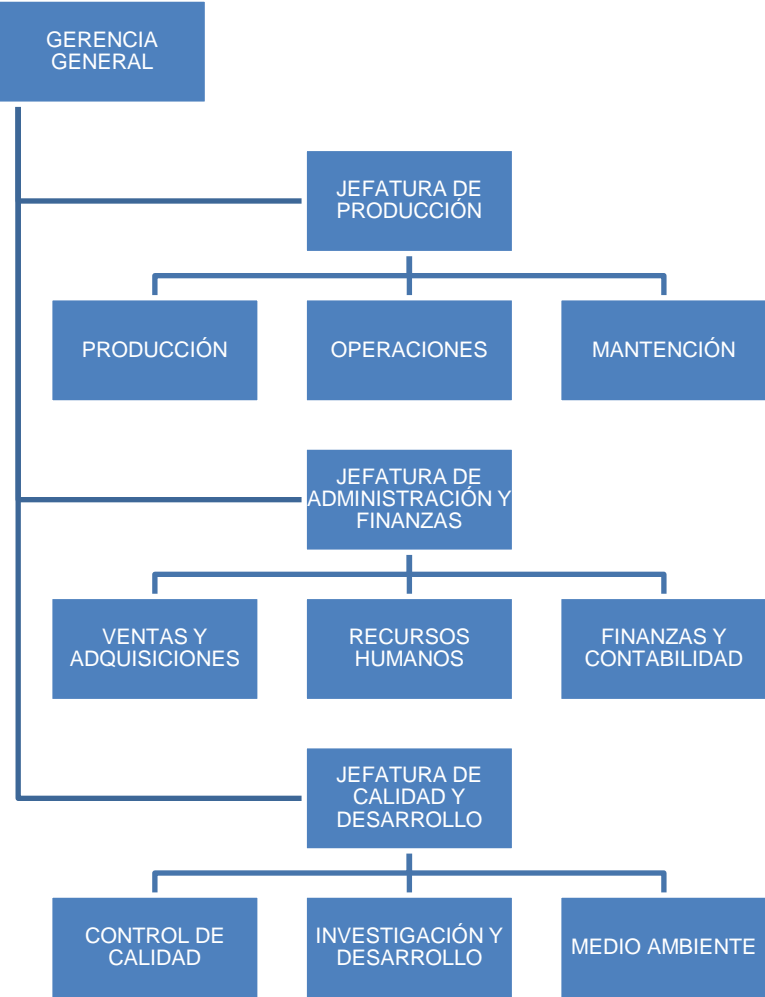
Debido a la importancia en el control del proceso de producción, se dispondrá de un departamento de control de calidad y desarrollo, el cual estará supervisado directamente por el gerente de la planta, siendo independiente del departamento de producción. Este departamento estará constituido por un Jefe de Control de Calidad, el cual deberá supervisar y controlar el correcto funcionamiento de la producción a través de todas las etapas involucradas en ella, de modo de lograr una óptima calidad en el producto final basándose en las características deseadas. Se necesitará un ingeniero químico, químico industrial, etc. encargado del trabajo en el laboratorio. Su perfil debe ser de técnicos o licenciados en química. Se deberá contar con personal encargado de la mantención de las maquinarias y equipos, se recomienda la contratación de un profesional de perfil técnico mecánico y eléctrico.

#### **A6.1.7 Otros Administrativos y Funcionarios**

1. Deberá haber Secretarías encargadas de mantener la comunicación dentro de la empresa y con el exterior, y de ser un apoyo para la gerencia.

2. Personal encargado de velar por la seguridad del lugar y controlar el ingreso de personas al recinto, se necesitan tanto de día como de noche. Se contratarán vigilantes que trabajarán por turnos.
3. Personal de Aseo y Ornato el cual será encargado de mantener el aseo de oficinas, baños, patio, instalaciones, etc. Se contratará a personal que trabajará de lunes a viernes.
4. Personal como chóferes encargados de manejar los camiones que transportarán la materia prima desde las conserveras hasta la planta, y el carbón activado desde la planta hasta los clientes o hasta el lugar donde se despachará vía aérea, marítima o terrestre el producto. Se contará con el servicio de chóferes que realizarán labores de traslado de materia prima y traslado de material dentro de la planta para el proceso productivo.
5. Alumnos en práctica profesional en las divisiones de producción y calidad y desarrollo, también un alumno memorista que desarrolle investigación aplicada, con un perfil profesional de ingeniero químico.

**A6.2 Organización de la Planta (Figura A6.1 – Diagrama Organizacional de la Empresa)**



1. En la **Tabla A6.1** se muestra la distribución de la empresa por departamentos, realizada según el cargo del personal de la planta:

| <b>DEPARTAMENTO</b>                    | <b>CARGO</b>  |
|--|---|
| <b>Gerencia General</b>                | 1 Gerente   |
| • Secretaria General                   | 1 Secretaria  |
| <b>Producción</b>                      | 2 Jefes de Operación  |
| • Producción                           | 8 Operarios<br>1 Alumnos en Tesis   |
| • Operación y Logística                | 1 Operario  |
| • Mantenimiento                        | 1 Mecánico Industrial<br>1 Eléctrico Industrial   |
| <b>Administración y Finanzas</b>       | 1 Jefe de Administración y Finanzas   |
| • Ventas y Adquisiciones               | 2 Vendedores Técnicos en Terreno  |
| • Recursos Humanos                     | 1 Encargado de Personal<br>3 Chóferes<br>2 Personal de Vigilancia<br>1 Ayudantes de Aseo y Ornato |
| • Finanzas y Contabilidad              | 1 Contador Auditor<br>1 Alumnos en Tesis  |
| <b>Control de Calidad y Desarrollo</b> | 1 Jefe de Control de Calidad  |
| • Control de Calidad                   | 1 Inspectores en Terreno  |
| • Investigación y Desarrollo           | 1 Químico Industrial  |
| • Medio Ambiente                       | 1 Técnico en Medio Ambiente   |

**Tabla A6.1 – Distribución de la Empresa por Departamentos.**

**ANEXO VII**  
**- Evaluación Económica -**

**Tabla A7.1: Método de Los Porcentajes (Planta Anexa a Una Mayor)**

**Table 6-9 Ratio factors for estimating capital investment items based on delivered-equipment cost**

*Values presented are applicable for major process plant additions to an existing site where the necessary land is available through purchase or present ownership.<sup>1</sup> The values are based on fixed-capital investments ranging from under \$1 million to over \$100 million.*

|   | Percent of delivered-equipment cost for |   |                                     |
|---|---|---|-------------------------------------|
|   | Solid processing plant <sup>1</sup>     | Solid-fluid processing plant <sup>2</sup> | Fluid processing plant <sup>3</sup> |
| <b>Direct costs</b>   |   |   |                                     |
| Purchased equipment delivered (including fabricated equipment, process machinery, pumps, and compressors) | 100                                     | 100                                       | 100                                 |
| Purchased-equipment installation  | 45                                      | 39  | 47                                  |
| Instrumentation and controls (installed)  | 18                                      | 26  | 36                                  |
| Piping (installed)  | 16                                      | 31  | 68                                  |
| Electrical systems (installed)  | 10                                      | 10  | 11                                  |
| Buildings (including services)  | 25                                      | 29  | 18                                  |
| Yard improvements   | 15                                      | 12  | 10                                  |
| Service facilities (installed)  | 40                                      | 55  | 70                                  |
| <b>Total direct plant cost</b>  | <b>269</b>                              | <b>302</b>                                | <b>360</b>                          |
| <b>Indirect costs</b>   |   |   |                                     |
| Engineering and supervision   | 33                                      | 32  | 33                                  |
| Construction expenses   | 39                                      | 34  | 41                                  |
| Legal expenses  | 4                                       | 4   | 4                                   |
| Contractor's fee  | 17                                      | 19  | 22                                  |
| Contingency   | 35                                      | 37  | 44                                  |
| <b>Total indirect plant cost</b>  | <b>128</b>                              | <b>126</b>                                | <b>144</b>                          |
| Fixed-capital investment  | 397                                     | 428                                       | 504                                 |
| Working capital (15% of total capital investment)   | 70                                      | 75  | 89                                  |
| <b>Total capital investment</b>   | <b>467</b>                              | <b>503</b>                                | <b>593</b>                          |

See Table 6-9 for details.

| Project Identifier:                      | Fraction of delivered equipment |                              |                        | User values | Calculated values, \$M |
|--|---------------------------------|------------------------------|------------------------|-------------|------------------------|
|  | Solid-processing plant          | Solid-fluid processing plant | Fluid-processing plant |             |                        |
| <b>Direct costs</b>                      |                                 |                              |                        |             |                        |
| Purchased equipment                      |                                 |                              |                        |             |                        |
| Delivery, percent of purchased equipment |                                 |                              |                        | 0.10        |                        |
| <b>Subtotal: delivered equipment</b>     |                                 |                              |                        |             |                        |
| Purchased equipment installation         | 0.45                            | 0.39                         | 0.47                   |             |                        |
| Instrumentation and controls (installed) | 0.18                            | 0.26                         | 0.36                   |             |                        |
| Piping (installed)                       | 0.16                            | 0.31                         | 0.68                   |             |                        |
| Electrical systems (installed)           | 0.10                            | 0.10                         | 0.11                   |             |                        |
| Buildings (including services)           | 0.25                            | 0.29                         | 0.18                   |             |                        |
| Yard improvements                        | 0.15                            | 0.12                         | 0.10                   |             |                        |
| Service facilities (installed)           | 0.40                            | 0.55                         | 0.70                   |             |                        |
| <b>Total direct cost</b>                 |                                 |                              |                        |             |                        |
| <b>Indirect costs</b>                    |                                 |                              |                        |             |                        |
| Engineering and supervision              | 0.33                            | 0.32                         | 0.33                   |             |                        |
| Construction expenses                    | 0.39                            | 0.34                         | 0.41                   |             |                        |
| Legal expenses                           | 0.04                            | 0.04                         | 0.04                   |             |                        |
| Contractor's fee                         | 0.17                            | 0.19                         | 0.22                   |             |                        |
| Contingency                              | 0.35                            | 0.37                         | 0.44                   |             |                        |
| <b>Total indirect cost</b>               |                                 |                              |                        |             |                        |
| <b>Fixed capital investment</b>          |                                 |                              |                        |             |                        |
| Working capital                          | 0.70                            | 0.75                         | 0.89                   |             |                        |
| <b>Total capital investment</b>          |                                 |                              |                        |             |                        |



**Tabla A7.2: Método de Lang y Chilton (Planta Nueva)**

| item | CAPITAL DIRECTOS O DEPRECIABLES   | Valor US\$ |
|------|---|------------|
| 1    | Listado de los equipos principales con sus costos reactualizados obtenidos de revista especializadas o cotizaciones.  |            |
| 2    | Costo de los equipos instalados<br>De 30% a 40% de los costos reactualizados (1,30 a 1,40)  |            |
| 3    | Cañerías de procesos<br>Plantas procesadora de solidos: 7 - 10% costo equipos instalados<br>Plantas proces. de solido-fluido: 10 - 30% costo equipos instalados<br>Plantas procesadora de fluidos: 20 - 60% costo equipos instalados  |            |
| 4    | Instrumentación<br>Poca: 3 - 5% del costo de los equipos instalado<br>Regular: 5 - 12% del costo de los equipos instalado<br>Intensa: 12 - 20% del costo de los equipos instalado   |            |
| 5    | Aislación<br>Regular: 10 - 15% del costo de las cañerías de procesos<br>Intensa: 20 - 25% del costo de las cañerías de procesos   |            |
| 6    | Pinturas y terminaciones<br>De 1 - 2% del costo de los equipos instalados   |            |
| 7    | Instalaciones electricas<br>De 10 - 12% del costo de los equipos instalados   |            |
| 8    | Instalaciones de vapor<br>Se calcula en base al suministro de vapor y costo de la caldera.<br>Los consumos de vapor se calculan en base a los balances de energía. Del total de los consumos se calcula la capacidad de la caldera y con esto obtenemos el costo estimativo de literatura.  |            |
| 9    | Instalaciones de agua<br>Se calcula en base al balance de masa y costo de la instalación  |            |
| 10   | Edificios<br>Zona de Procesos: (m <sup>2</sup> ) · (US\$/m <sup>2</sup> )<br>Zona de administración, oficinas y laboratorio: (m <sup>2</sup> ) · (US\$/m <sup>2</sup> )<br>Zona de bodegas y talleres: (m <sup>2</sup> ) · (US\$/m <sup>2</sup> )<br>La superficie de los edificios se determina en base al layout preliminar de la planta. El precio de m <sup>2</sup> construido se puede conseguir localmente. |            |
| 11   | <b>Total Capital Directo de la Planta o Capital Depreciable</b>   |            |

| item | CAPITAL INDIRECTOS O NO DEPRECIABLES  | Valor US\$ |
|------|---|------------|
| 12   | Valor del terreno<br>(m <sup>2</sup> ) - (US\$/m <sup>2</sup> )<br>El precio del m <sup>2</sup> de terreno se puede obtener localmente  |            |
| 13   | Preparación de terreno y urbanización.<br>(m <sup>2</sup> ) - (US\$/m <sup>2</sup> )<br>El precio del m <sup>2</sup> se puede obtener localmente  |            |
| 14   | Ingeniería<br>Plantas de:<br>US\$ 100000 a US\$ 1000000: 17 a 22% total capital fijo de la planta<br>US\$ 1000000 a US\$ 10000000: 10 a 17% total capital fijo de la planta<br>Sobre los US\$ 10000000: 7 a 10% total capital fijo de la planta |            |
| 15   | Construcción (honorarios contratista)<br>El 10% del total capital fijo de la planta   |            |
| 16   | Imprevistos y contingencias<br>De 20 a 30% del total capital fijo de la planta<br>según sea la confiabilidad de la estimación   |            |
| 17   | <i>Total Capital Indirectos [(12)+(13)+(14)+(15)+(16)]</i>  |            |
| 18   | <i>Total Capital Fijo de la planta [(11)+(17)]</i>  |            |

**Tabla A7.3:** Tipo de Cambio.

| <b>Tipo de Cambio</b>     | <b>CLP</b> |
|---------------------------|------------|
| Valor del Dólar Utilizado | 470,00     |
| Valor de la UF Utilizada  | 22.000,00  |

**Tabla A7.4: Costo Total de Equipos.**

| CANTIDAD | EQUIPO  | CÓDIGO   | CAPACIDAD | UNIDADES | COSTO UNI. \$ | TOTAL \$   | TOTAL US\$ |
|----------|---|----------|-----------|----------|---------------|------------|------------|
| 1        | Caldera                                       | CA - 1   | 600,0     | Kg/h     | 11.101.000    | 11.101.000 | 23.619     |
| 1        | Horno Rotatorio                               | H - 1    | 1270,0    | Kg/h     | 85.780.000    | 85.780.000 | 182.511    |
| 1        | Intercambiador de Calor (Condensador)         | IC - 1   | 163,3     | pies2    | 3.500.000     | 3.500.000  | 7.447      |
| 2        | Torre de Absorción                            | TR - 1   | 10,0      | m3       | 17.500.000    | 35.000.000 | 74.468     |
| 1        | Enfriador Productos Horno Rotatorio           | ES - 1   | 1140,0    | Kg/h     | 10.000.000    | 10.000.000 | 21.277     |
| 1        | Pozo Colector de Agua Industrial              | PC - 1   | 1300,0    | m3       | 3.000.000     | 3.000.000  | 6.383      |
| 1        | Estanque Distribución de Agua Industrial      | ET - AG1 | 51,6      | m3       | 11.900.000    | 11.900.000 | 25.319     |
| 1        | Estanque Distribución de Fuel Diesel          | ET - AG2 | 42,0      | m3       | 14.900.000    | 14.900.000 | 31.702     |
| 1        | Chancador Materia Prima                       | E - 1    | 5,0       | m3       | 7.500.000     | 7.500.000  | 15.957     |
| 1        | Dosificador Material a Bodega                 | E - 2a   | 2,8       | m3       | 4.500.000     | 4.500.000  | 9.574      |
| 1        | Dosificador Material a Horno Rotatorio        | E - 2b   | 2,2       | m3       | 3.500.000     | 3.500.000  | 7.447      |
| 1        | Molino Carbón Activado                        | E - 3    | 1140,0    | Kg/h     | 8.000.000     | 8.000.000  | 17.021     |
| 1        | Cargador Frontal                              | E - 4    | 180,0     | Ton/h    | 14.805.000    | 14.805.000 | 31.500     |
| 1        | Silo Almacenamiento Carbón Natural            | SIL - 1  | 42,9      | m3       | 8.350.000     | 8.350.000  | 17.766     |
| 1        | Silo Almacenamiento Carbón Activo             | SIL - 2  | 46,8      | m3       | 7.515.000     | 7.515.000  | 15.989     |
| 1        | Correa Transportadora Materia Prima a Bodega  | CT - 1   | 15,0      | m        | 2.592.000     | 2.592.000  | 5.515      |
| 1        | Correa Transportadora Carbón Natural a Silo   | CT - 2   | 12,0      | m        | 3.240.000     | 3.240.000  | 6.894      |
| 1        | Correa Transportadora Carbón Activado a Silo  | CT - 3   | 12,0      | m        | 1.944.000     | 1.944.000  | 4.136      |
| 1        | Bomba Entrada Agua Enfriador (15 °C)          | B1       | 1,0       | HP       | 100.000       | 100.000    | 213        |
| 1        | Bomba Entrada Agua Inter. Calor (15 °C)       | B2       | 2,0       | HP       | 200.000       | 200.000    | 426        |
| 1        | Bomba Entrada Agua Torre de Absorción (15 °C) | B3       | 1,0       | HP       | 100.000       | 100.000    | 213        |

**Tabla A7.4 (conti.): Costo Total de Equipos.**

| CANTIDAD | EQUIPO  | CÓDIGO | CAPACIDAD | UNIDADES | COSTO UNI. \$ | TOTAL \$    | TOTAL US\$ |
|----------|---|--------|-----------|----------|---------------|-------------|------------|
| 1        | Bomba Retorno Agua Alimentación Agua (15 °C)    | B4     | 5,0       | HP       | 350.000       | 350.000     | 745        |
| 1        | Bomba Salida Líquido Torre de Absorción (50 °C) | B5     | 2,0       | HP       | 200.000       | 200.000     | 426        |
|          |   |        |           |          | TOTAL NETO    | 238.077.000 | 506.547    |
|          |   |        |           |          | IVA (19%)     | 45.234.630  | 96.244     |
|          |   |        |           |          | TOTAL         | 283.311.630 | 602.791    |

**Tabla A7.5:** Costo Total de Otros Equipos.

| CANTIDAD | OTROS                                 | CÓDIGO | CAPACIDAD    | UNIDADES | COSTO UNI. \$ | TOTAL \$    | TOTAL US\$ |
|----------|---------------------------------------|--------|--------------|----------|---------------|-------------|------------|
| 1        | Transformador Trifásico               | TT - 1 | 90           | KVA      | 3.065.000     | 3.065.000   | 6.521      |
| -        | Equipamiento Oficinas Laboratorios    | -      | -            | -        | -             | 20.000.000  | 42.553     |
| 2        | Camión Transporte                     | -      | 6            | Ton      | 12.990.000    | 25.980.000  | 55.277     |
| 2        | Camiones Recolectores, Distribuidores | -      | 20           | Ton      | 39.990.000    | 79.980.000  | 170.170    |
| 2        | Camionetas Servicios                  | -      | Doble Cabina | -        | 11.650.100    | 23.300.200  | 49.575     |
|          |                                       |        |              |          | TOTAL NETO    | 152.325.200 | 324.096    |
|          |                                       |        |              |          | IVA (19%)     | 28.941.788  | 61.578     |
|          |                                       |        |              |          | TOTAL         | 181.266.988 | 385.674    |

**Tabla A7.6: Costo Total de Edificios e Instalaciones.**

| CANTIDAD | INSTALACIONES                          | CÓDIGO  | CAPACIDAD | UNIDADES | COSTO UNI. \$ | TOTAL \$    | TOTAL US\$ |
|----------|--|---------|-----------|----------|---------------|-------------|------------|
| 1        | Sala Embalaje Producto Terminado       | EMP - 1 | 50        | m2       | 110.000       | 5.500.000   | 11.702     |
| 1        | Bodega Almacenaje Materia Prima        | BDA - 1 | 900       | m2       | 110.000       | 99.000.000  | 210.638    |
| 1        | Bodega Almacenaje Producto             | BDA - 2 | 625       | m2       | 110.000       | 68.750.000  | 146.277    |
| 1        | Pozo Colector de Agua Industrial       | PC - 1  | 400       | m2       | 100.000       | 40.000.000  | 85.106     |
| 1        | Oficinas Gerencia                      | OF - 1  | 25        | m2       | 100.000       | 2.500.000   | 5.319      |
| 1        | Oficinas Producción                    | OF - 2  | 25        | m2       | 100.000       | 2.500.000   | 5.319      |
| 1        | Oficinas de Adm. Y Finanzas            | OF - 3  | 25        | m2       | 100.000       | 2.500.000   | 5.319      |
| 1        | Oficinas de Calidad y Desarrollo       | OF - 4  | 25        | m2       | 100.000       | 2.500.000   | 5.319      |
| 1        | Laboratorio de Calidad e Investigación | D - 1   | 25        | m2       | 120.000       | 3.000.000   | 6.383      |
| 1        | Taller de Mantenición                  | D - 2   | 25        | m2       | 100.000       | 2.500.000   | 5.319      |
| 1        | Comedor                                | D - 3   | 25        | m2       | 130.000       | 3.250.000   | 6.915      |
| 1        | Baños y Lockers                        | D - 4   | 25        | m2       | 110.000       | 2.750.000   | 5.851      |
| 1        | Garita de Vigilancia                   | D - 5   | 5         | m2       | 100.000       | 500.000     | 1.064      |
| 1        | Estacionamientos Vehículos             | D - 6   | 25        | m2       | 110.000       | 2.750.000   | 5.851      |
| 1        | Estacionamientos Camiones              | D - 7   | 50        | m2       | 110.000       | 5.500.000   | 11.702     |
|          |  |         |           |          | TOTAL NETO    | 243.500.000 | 518.085    |
|          |  |         |           |          | IVA (19%)     | 46.265.000  | 98.436     |
|          |  |         |           |          | TOTAL         | 289.765.000 | 616.521    |

**Tabla A7.7:** Costo Total de Terrenos. (Dato del portal Inmobiliario: [www.portalinmobiliario.cl](http://www.portalinmobiliario.cl))

| CANTIDAD | INSTALACIONES        | UF  | CAPACIDAD | UNIDADES | COSTO UF | TOTAL \$    | TOTAL US\$ |
|----------|----------------------|-----|-----------|----------|----------|-------------|------------|
| 1        | Terreno Industrial   | 1,2 | 5000      | m2       | 6.000    | 132.000.000 | 280.851    |
| 2        | Trámites Respectivos | -   | -         | .        | -        | 1.500.000   | 3.191      |
| 3        | Cierre Terreno       | -   | -         | .        | -        | 2.500.000   | 5.319      |
|          |                      |     |           |          | TOTAL    | 136.000.000 | 289.362    |



**Tabla A7.8:** Costo Total Mano de Obra. Según Consultora PWC – Capital Humano.

| CANTIDAD | CARGO                              | MESES | COSTO UNI. \$ | COSTO AÑO \$ | TOTAL US\$ |
|----------|------------------------------------|-------|---------------|--------------|------------|
| 1        | Gerente                            | 12    | 2.000.000     | 24.000.000   | 51.064     |
| 1        | Secretaria Gerencia                | 12    | 400.000       | 4.800.000    | 10.213     |
| 2        | Jefes de Turno Producción          | 12    | 800.000       | 19.200.000   | 40.851     |
| 8        | Operarios Producción               | 12    | 300.000       | 28.800.000   | 61.277     |
| 1        | Alumnos en Tesis Producción        | 12    | 120.000       | 1.440.000    | 3.064      |
| 1        | Operario Operación y Logística     | 12    | 350.000       | 4.200.000    | 8.936      |
| 1        | Mecánico Industrial Mantenición    | 12    | 350.000       | 4.200.000    | 8.936      |
| 1        | Eléctrico Industrial Mantenición   | 12    | 350.000       | 4.200.000    | 8.936      |
| 1        | Jefe de Administración y Finanzas  | 12    | 800.000       | 9.600.000    | 20.426     |
| 2        | Vendedores Técnicos en Terreno     | 12    | 350.000       | 8.400.000    | 17.872     |
| 1        | Encargado de Personal RRHH         | 12    | 800.000       | 9.600.000    | 20.426     |
| 3        | Chóferes RRHH                      | 12    | 300.000       | 10.800.000   | 22.979     |
| 2        | Personal de Vigilancia RRHH        | 12    | 250.000       | 6.000.000    | 12.766     |
| 1        | Ayudantes de Aseo y Ornato RRHH    | 12    | 200.000       | 2.400.000    | 5.106      |
| 1        | Encargado Contabilidad y Auditoria | 12    | 400.000       | 4.800.000    | 10.213     |
| 1        | Alumnos en Tesis                   | 12    | 120.000       | 1.440.000    | 3.064      |
| 1        | Jefe de Control de Calidad         | 12    | 800.000       | 9.600.000    | 20.426     |
| 1        | Inspectores en Terreno             | 12    | 350.000       | 4.200.000    | 8.936      |
| 1        | Químico Industrial                 | 12    | 350.000       | 4.200.000    | 8.936      |
| 1        | Técnico en Medio Ambiente          | 12    | 350.000       | 4.200.000    | 8.936      |
|          |                                    |       | TOTAL LÍQUIDO | 166.080.000  | 353.362    |
|          |                                    |       | HABER (20%)   | 33.216.000   | 70.672     |
|          |                                    |       | TOTAL         | 199.296.000  | 424.034    |

Tabla A7.9: Costo Indexado para Equipos (Nov. 2001).

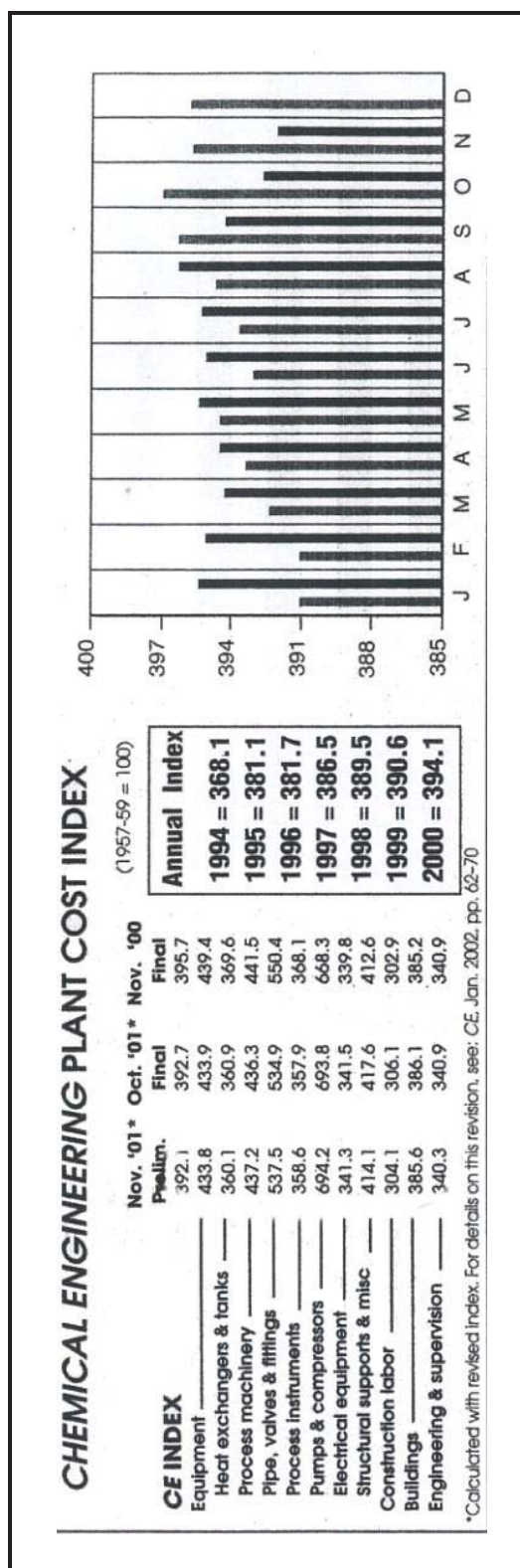
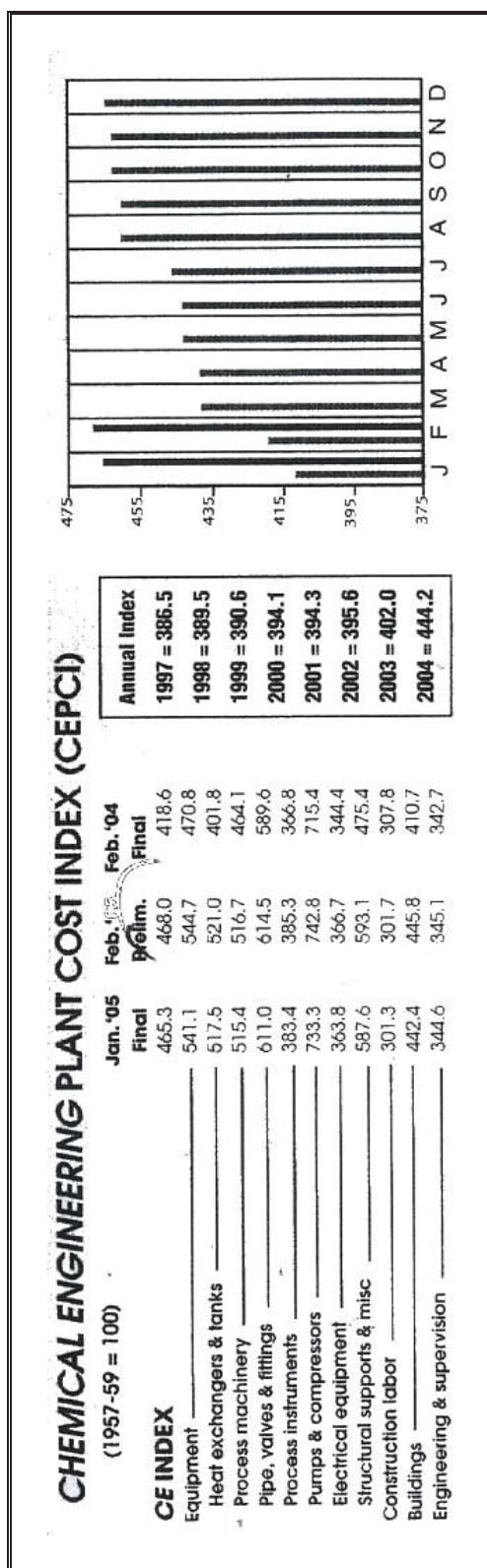


Tabla A7.10: Costo Indexado para Equipos (Feb. 2005).



**Tabla A7.11: Calculo Inversión Total Método de Lang y Chilton.**

| <b>MÉTODO DE LANG Y CHILTON</b>   |   |                  |                   |
|-----------------------------------|---|------------------|-------------------|
| <b>CAPITAL FIJO DIRECTO</b>       |   | <b>(%)</b>       | <b>TOTAL US\$</b> |
| 1                                 | Costo CIF de Equipos Principales          | 100              | 602.791           |
| 2                                 | Instalación de Equipos                    | 135              | 813.767           |
| 3                                 | Cañerías de Proceso                       | 10               | 81.377            |
| 4                                 | Instrumentación                           | 5                | 40.689            |
| 5                                 | Aislación                                 | 15               | 12.207            |
| 6                                 | Pinturas y Terminaciones                  | 2                | 16.275            |
| 7                                 | Instalaciones Eléctricas                  | 12               | 97.652            |
| 8                                 | Instalación de Vapor: Se Considera en (1) | -                | -                 |
| 9                                 | Instalación de Agua: Se Considera en (1)  | -                | -                 |
| 10                                | Edificios                                 | -                | 616.521           |
| 11                                | <i>TOTAL CAPITAL FIJO DIRECTO</i>         | SUMA (2) a (10)  | 1.678.488         |
| <b>CAPITAL FIJO INDIRECTO</b>     |   | <b>(%)</b>       | <b>TOTAL US\$</b> |
| 12                                | Valor Terreno (dato)                      | -                | 284.044           |
| 13                                | Preparación Terreno y Urbanización (dato) | -                | 5.319             |
| 14                                | Ingeniería                                | 17               | 777.987           |
| 15                                | Construcción                              | 10               | 457.639           |
| 16                                | Imprevistos y Contingencias               | 30               | 1.372.918         |
| 17                                | <i>TOTAL CAPITAL FIJO INDIRECTO</i>       | SUMA (12) a (16) | 2.897.907         |
| 18                                | <i>TOTAL CAPITAL FIJO</i>                 | (11) + (17)      | 4.576.395         |
| <b>CAPITAL DE TRABAJO</b>         |   | <b>(%)</b>       | <b>TOTAL US\$</b> |
| 19                                | (10%) del Capital Fijo                    | 10               | 457.639           |
|                                   | <i>TOTAL CAPITAL DE TRABAJO</i>           |                  | 457.639           |
| <b>GASTOS PUESTA EN MARCHA</b>    |   | <b>(%)</b>       | <b>TOTAL US\$</b> |
| 20                                | (10%) del Capital Fijo                    | 10               | 457.639           |
|                                   | <i>TOTAL GASTOS PUESTA EN MARCHA</i>      |                  | 457.639           |
| <b>TOTAL CAPITAL DE INVERSIÓN</b> |   |                  | <b>5.491.673</b>  |

**Tabla A7.12:** Costo de Patentes y Royalties Método de Lang y Chilton.

| <b>Años</b> | <b>M. Lang y Chilton USD\$</b> |
|-------------|--------------------------------|
| 1           | 141.627                        |
| 2           | 144.852                        |
| 3           | 148.247                        |
| 4           | 151.821                        |
| 5           | 155.582                        |
| 6           | 159.542                        |
| 7           | 163.710                        |
| 8           | 168.098                        |
| 9           | 172.718                        |
| 10          | 177.582                        |

**Tabla A7.13:** Resto Costos Directos Operación Método de Lang y Chilton.

| <b>ITEM</b> | <b>COSTOS DIRECTOS DE OPERACIÓN</b>                 | <b>%</b>     | <b>TOTAL US\$</b> |
|-------------|---|--------------|-------------------|
| 1           | Supervisión (15% sueldo Personal)                   | 15           | 63.605            |
| 2           | Mantenimiento y Reparación (20% Capital Fijo)       | 20           | 915.279           |
| 3           | Suministros de Operación (15% Mantenimiento y Rep.) | 15           | 137.292           |
| 4           | Laboratorio (15% Sueldo del Personal Planta)        | 15           | 63.605            |
| 5           | Patentes y Royalties (3% Costo Total Producto)      | Ver Tabla 12 |                   |

**Tabla A7.14:** Total Costos Directos Operación Método de Lang y Chilton.

| <b>Años</b> | <b>M. Lang y Chilton USD\$</b> |
|-------------|--------------------------------|
| 1           | 3.319.361                      |
| 2           | 3.402.155                      |
| 3           | 3.489.296                      |
| 4           | 3.581.016                      |
| 5           | 3.677.561                      |
| 6           | 3.779.190                      |
| 7           | 3.886.176                      |
| 8           | 3.998.806                      |
| 9           | 4.117.383                      |
| 10          | 4.242.228                      |

**Tabla A7.14:** Costos Indirectos de Operación Método de Lang y Chilton.

|   | <b>COSTOS INDIRECTOS DE OPERACIÓN</b>          | <b>%</b> | <b>TOTAL US\$</b> |
|---|--|----------|-------------------|
| 1   | Seguros (4% Capital Fijo Invertido)            | 4        | 183.056           |
| 2   | Contribuciones e Impuestos (2% Construcciones) | 2        | 12.330            |
| <i>TOTAL COSTOS INDIRECTOS DE OPERACIÓN</i> |  |          | 195.386           |



**Tabla A7.15:** Gastos de Distribución y Ventas Método de Lang y Chilton.

| <b>Años</b> | <b>M. Porcentajes USD\$</b> | <b>M. Lang y Chilton USD\$</b> |
|-------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 1           | 784.854                     | 944.177                        |
| 2           | 806.359                     | 965.682                        |
| 3           | 828.993                     | 988.316                        |
| 4           | 852.817                     | 1.012.140                      |
| 5           | 877.893                     | 1.037.216                      |
| 6           | 904.290                     | 1.063.613                      |
| 7           | 932.079                     | 1.091.402                      |
| 8           | 961.333                     | 1.120.656                      |
| 9           | 992.133                     | 1.151.456                      |
| 10          | 1.024.560                   | 1.183.883                      |

**Tabla A7.16:** Gastos Investigación y Desarrollo Método Lang y Chilton.

| <b>Años</b> | <b>M. Porcentajes USD\$</b> | <b>M. Lang y Chilton USD\$</b> |
|-------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 1           | 117.728                     | 141.627                        |
| 2           | 120.954                     | 144.852                        |
| 3           | 124.349                     | 148.247                        |
| 4           | 127.922                     | 151.821                        |
| 5           | 131.684                     | 155.582                        |
| 6           | 135.644                     | 159.542                        |
| 7           | 139.812                     | 163.710                        |
| 8           | 144.200                     | 168.098                        |
| 9           | 148.820                     | 172.718                        |
| 10          | 153.684                     | 177.582                        |

**Tabla A7.17:** Total Gastos Generales Empresa Método Lang y Chilton.

| <b>Años</b> | <b>M. Porcentajes USD\$</b> | <b>M. Lang y Chilton USD\$</b> |
|-------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 1           | 919.544                     | 1.102.765                      |
| 2           | 944.274                     | 1.127.496                      |
| 3           | 970.303                     | 1.153.525                      |
| 4           | 997.700                     | 1.180.922                      |
| 5           | 1.026.539                   | 1.209.760                      |
| 6           | 1.056.895                   | 1.240.117                      |
| 7           | 1.088.852                   | 1.272.073                      |
| 8           | 1.122.495                   | 1.305.716                      |
| 9           | 1.157.914                   | 1.341.135                      |
| 10          | 1.195.205                   | 1.378.427                      |

**Tabla A7.18:** Costo Total del Producto Método de Lang y Chilton.

| <b>Años</b> | <b>M. Porcentajes USD\$</b> | <b>M. Lang y Chilton USD\$</b> |
|-------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 1           | 3.924.271                   | 4.720.886                      |
| 2           | 4.031.796                   | 4.828.411                      |
| 3           | 4.144.966                   | 4.941.581                      |
| 4           | 4.264.083                   | 5.060.698                      |
| 5           | 4.389.466                   | 5.186.081                      |
| 6           | 4.521.452                   | 5.318.067                      |
| 7           | 4.660.394                   | 5.457.009                      |
| 8           | 4.806.667                   | 5.603.282                      |
| 9           | 4.960.664                   | 5.757.279                      |
| 10          | 5.122.800                   | 5.919.415                      |

Tabla A7.19: Flujo de Caja Método de Lang y Chilton.

| Años                  | 0 | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         | 7         | 8         | 9         | 10        |
|-----------------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Ingresos Netos        | - | 5.587.760 | 5.893.573 | 6.216.122 | 6.556.324 | 6.915.145 | 7.293.604 | 7.692.776 | 8.113.794 | 8.557.854 | 9.026.216 |
| Costo Total Operación | - | 4.720.886 | 4.828.411 | 4.941.381 | 5.060.698 | 5.186.081 | 5.318.067 | 5.457.009 | 5.603.282 | 5.757.279 | 5.919.415 |
| Utilidad Operacional  | - | 866.874   | 1.065.162 | 1.274.541 | 1.495.626 | 1.729.064 | 1.975.537 | 2.235.767 | 2.510.512 | 2.800.575 | 3.106.802 |
| Depreciación          | - | 489.859   | 489.859   | 489.859   | 489.859   | 489.859   | 489.859   | 489.859   | 489.859   | 489.859   | 489.859   |
| Interés Deuda         | - | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         |
| Venta Activo          | - | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         |
| PEA                   | - | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         |
| Renta Grabable        | - | 377.014   | 575.302   | 784.682   | 1.005.767 | 1.239.205 | 1.485.678 | 1.745.907 | 2.020.652 | 2.310.716 | 2.616.942 |
| Impuestos (17%)       | - | 64.082    | 97.801    | 133.396   | 170.980   | 210.665   | 252.565   | 296.804   | 343.511   | 392.822   | 444.880   |
| Utilidad Neta         | - | 312.922   | 477.501   | 651.286   | 834.787   | 1.028.540 | 1.233.113 | 1.449.103 | 1.677.142 | 1.917.894 | 2.172.062 |
| Depreciación          | - | 489.859   | 489.859   | 489.859   | 489.859   | 489.859   | 489.859   | 489.859   | 489.859   | 489.859   | 489.859   |
| Amortización          | - | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         |
| PEA                   | - | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         |
| Valor de Salvamento   | - | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | 296.540   |
| Inversión             | - | 5.491.673 | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         |
| Prestamo              | - | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         |
| FCN                   | - | 802.781   | 967.360   | 1.141.145 | 1.324.646 | 1.518.399 | 1.722.972 | 1.938.962 | 2.167.001 | 2.407.753 | 2.958.461 |
| VAN                   | - | 270.892   | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         |
| TIR                   | - | 21%       | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         |



## Carbón Activado

### DESCRIPCION

|                        |   |   |
|------------------------|---|---|
| <b>Sinónimos</b>       | : | Carbón Negro - Carborafina - Carbono Elemental. |
| <b>Formula Química</b> | : | C   |
| <b>Concentración</b>   | : | No reportado.                                   |
| <b>Peso molecular</b>  | : | 12.01   |
| <b>Grupo Químico</b>   | : | Carbono elemental.                              |
| <b>Número CAS</b>      | : | 7440-44-0                                       |
| <b>Número NU</b>       | : | 1362  |
| <b>Código Winkler</b>  | : | CA-0548   |

### PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

|                                   |   |                              |
|-----------------------------------|---|------------------------------|
| <b>Estado Físico</b>              | : | Sólido                       |
| <b>Apariencia</b>                 | : | Polvos finos de color negro. |
| <b>Olor</b>                       | : | Sin olor.                    |
| <b>pH</b>                         | : | No reportado.                |
| <b>Temperatura de Ebullición</b>  | : | 4827°C                       |
| <b>Temperatura de Fusión</b>      | : | 3550°C                       |
| <b>Densidad (Agua=1)</b>          | : | 1.50                         |
| <b>Presión de Vapor</b>           | : | < 0.1 mmHg a 20°C            |
| <b>Densidad de Vapor (Aire=1)</b> | : | 0.40                         |
| <b>Solubilidad</b>                | : | Insoluble en Agua (< 0.1%).  |

### IDENTIFICACION DE RIESGOS

|                            |   |                                    |
|----------------------------|---|------------------------------------|
| <b>Riesgo Principal</b>    | : | Combustión espontánea              |
| <b>Riesgos Secundarios</b> | : | Nocivo, Reactivo e Irritante leves |
| <b>Código Winkler</b>      | : |                                    |



Clasificación de riesgos  
0 = No especial  
1 = Ligero  
2 = Moderado  
3 = Severo  
4 = Extremo

|                              |   |     |
|------------------------------|---|-----|
| <b>Rótulo de Transporte:</b> | : |     |
| <b>Clase</b>                 | : | 4   |
| <b>Grupo</b>                 | : | III |
| <b>Division</b>              | : | 4.2 |

Norma NFPA

0 - 1 - 0

### RIESGOS PARA LA SALUD

## **EFFECTOS DE SOBREEXPOSICION**

|                              |   |   |
|------------------------------|---|---|
| <b>Inhalación</b>            | : | Irritaciones del tracto respiratorio.   |
| <b>Contacto con La Piel</b>  | : | Irritaciones.<br>Enrojecimiento.  |
| <b>Contacto con los Ojos</b> | : | Irritaciones.<br>Enrojecimiento.  |
| <b>Ingestión</b>             | : | Nocivo de baja toxicidad.<br>Molestias si se ingieren grandes cantidades.<br>Irritaciones gastrointestinales.<br>DL <sub>50</sub> (oral - rata): > 10 g/kg. |

### **Otros Efectos**

|                      |   |                    |
|----------------------|---|--------------------|
| <b>Cancerígeno</b>   | : | No hay evidencias. |
| <b>Mutageno</b>      | : | No hay evidencias. |
| <b>Teratogeno</b>    | : | No hay evidencias. |
| <b>Otros Efectos</b> | : | Daño pulmonar.     |

## **RIESGO DE INCENDIO**

|                                    |   |  |
|------------------------------------|---|--|
| <b>Condición de Inflamabilidad</b> | : | Combustión espontánea.   |
| <b>Temperatura de Inflamación</b>  | : | No reportado.  |
| <b>Temperatura de Autoignición</b> | : | No reportado.  |
| <b>Limites de Inflamabilidad</b>   | : | No reportado.  |
| <b>Productos de Combustión</b>     | : | Monóxido de Carbono y Dióxido de Carbono.  |
| <b>Medios de Extinción</b>         | : | Extintores de Polvo Químico Seco, Anhídrido Carbónico y/o Espuma Química.<br>Aplicar Agua en forma de neblina. |

## **RIESGO DE REACTIVIDAD**

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>Estabilidad Química</b>                    | : | Normalmente estable.   |
| <b>Incompatibilidades</b>                     | : | Agentes Oxidantes fuertes.<br>Cloro.<br>Permanganatos.<br>Oxígeno Líquido.<br>Ozono. |
| <b>Peligro de Polimerización</b>              | : | No ocurre.   |
| <b>Productos Peligrosos en Descomposición</b> | : | Monóxido de Carbono y Dióxido de Carbono.  |
| <b>Condiciones a Evitar</b>                   | : | Altas temperaturas.  |

## CONTROL DE EXPOSICION

|                                     |   |   |
|-------------------------------------|---|---|
| <b>Medidas de Control</b>           | : | Trabajar en un lugar con buena ventilación.<br>Utilizar cabinas campanas de laboratorio con extracción forzada.<br>Sistema eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión.<br>Aplicar procedimientos de trabajo seguro.<br>Capacitar respecto a los riesgos químicos y su prevención.<br>Contar con ficha de seguridad química del producto y conocer su contenido.<br>Mantener los envases con sus respectivas etiquetas.<br>Respetar prohibiciones de no fumar, comer y beber bebidas en el lugar de trabajo.<br>Utilizar elementos de protección personal asignados. |
| <b>Límite Permissible Ponderado</b> | : | 1.6 mg/m <sup>3</sup> (como Carbón Bituminoso o Carbón de Retorta Grafítico<br>Decreto N°594 - Ministerio de Salud)   |
| <b>Límite Permissible Absoluto</b>  | : | 8.0 mg/m <sup>3</sup> (como Carbón Bituminoso o Carbón de Retorta Grafítico<br>Decreto N°594 - Ministerio de Salud)   |
| <b>Limite Permissible temporal</b>  | : | No regulado.  |
| <b>Otros limites</b>                | : | No reportados.  |

## EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL

|                                |   |   |
|--------------------------------|---|---|
| <b>Ropa de Trabajo</b>         | : | En general, uso de indumentaria de trabajo resistente al producto químico.  |
| <b>Protección Respiratoria</b> | : | Aplicación de protección respiratoria sólo en caso de sobrepasarse alguno de los límites permisibles correspondientes. Debe ser específica para partículas sólidas.<br>En caso de haber altas concentraciones ambientales, existencia de cantidades desconocidas o situaciones de emergencias, se deben utilizar equipos de respiración autónomos o de suministro de aire, ambos de presión positiva. |
| <b>Guantes de Protección</b>   | : | Utilización de guantes de Goma Natural u otros de características impermeables y que no sean atacados por el producto químico.  |
| <b>Lentes Protectores</b>      | : | Uso de lentes de seguridad resistentes contra proyecciones de la sustancia química.   |
| <b>Calzado de seguridad</b>    | : | En general, utilizar calzado cerrado, no absorbente, con resistencia química y de planta baja.  |

## MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

### EN CASO DE:

|                             |   |  |
|-----------------------------|---|--|
| <b>Inhalación</b>           | : | Trasladar a la persona donde exista aire fresco.<br>En caso de paro respiratorio, emplear método de reanimación cardiopulmonar.<br>Si respira dificultosamente se debe suministrar Oxígeno.<br>Conseguir asistencia médica de inmediato. |
| <b>Contacto con la piel</b> | : | Lavar con abundante Agua, a lo menos por 5 minutos.<br>Como medida general, utilizar una ducha de emergencia si es   |




|                              |  |
|------------------------------|--|
|                              | <p>necesario.<br/>Sacarse la ropa contaminada y luego lavarla o desecharla.<br/>De mantenerse la irritación, recurrir a una asistencia médica.</p>   |
| <b>Contacto con los Ojos</b> | <p>: Lavarse con abundante y rápida Agua en un lavadero de ojos, entre 5 y 10 minutos como mínimo, separando los párpados.<br/>De persistir la irritación, derivar a un centro de atención médica.</p> |
| <b>Ingestión</b>             | <p>: Lavar la boca con bastante Agua.<br/>Dar a beber Agua.<br/>Enviar a un servicio de atención médica inmediatamente.</p>  |

**Nota:**

Si la lesión sufrida por una persona tiene relación laboral y está cubierta por la Ley N°16744 de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales, podrá ser atendida según proceda, por el Servicio Médico asociado a la Asociación Chilena de Seguridad, Mutual de Seguridad C.CH.C., Instituto de Seguridad del Trabajo, Instituto de Normalización Previsional o por la Administración Delegada correspondiente.

**ALMACENAMIENTO**

|                              |   |
|------------------------------|---|
| Area de Almacenamiento       | : Zona de almacenaje de reactivos y soluciones químicas con riesgo de inflamación.<br>Almacenamiento en bodegas y/o cabinas, diseñadas para contener inflamables.<br>Lugar fresco a frío, seco y con buena ventilación.<br>Acceso controlado y señalización del riesgo. |
| Código de almacenaje Winkler | : Rojo    |
| Precauciones Especiales      | : Mantener alejado de condiciones y sustancias incompatibles.<br>Sistema eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión.<br>Proteger contra el daño físico.<br>Tener los envases cerrados y debidamente etiquetados.  |

**MEDIDAS PARA EL CONTROL DE DERRAMES O FUGAS**

**PROCEDIMIENTO**

- Contener el derrame o fuga.
- Ventilar y aislar el área crítica.
- Utilizar elementos de protección personal - Nivel de protección B, C o D.
- Contar con algún medio de extinción de incendios.
- Recoger el producto a través de una alternativa segura.
- Disponer el producto recogido como residuo químico.
- Limpiar completamente la zona contaminada.
- Solicitar ayuda especializada si es necesaria.
- Aplicar Guía de Respuesta a Emergencia Americana (Guía N°133).

**DISPOSICION DE RESIDUOS QUIMICOS**

En general, los residuos químicos se pueden eliminar a través de una alternativa segura, una vez que se acondicionen de forma tal de ser inocuos para el medio ambiente.

Alternativa:

- Contener adecuadamente, evitar fuentes iniciadoras de incendio y disponer de acuerdo a como disponga la autoridad competente.

Es importante considerar para la eliminación de residuos, que se realice conforme a lo que disponga la autoridad competente respectiva, solicitándose previamente la autorización correspondiente.

**INFORMACION REGLAMENTARIA**

- Decreto N°94 "Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo".
- Decreto N°40 "Reglamento sobre Prevención de Riesgos Profesionales".
- NCh 382.Of1998 "Sustancias Peligrosas - Terminología y Clasificación General".
- NCh 2120/4.Of1998 Sustancias Peligrosas - Parte 4: Clase 4 - Sólidos Inflamables; Sustancias que Presentan Riesgos de Combustión Espontánea; Sustancias que en Contacto con el Agua Desprenden Gases Inflamables .
- NCh 2190.Of1993 Sustancias Peligrosas - Marcas para Información de Riesgos .

-

NCh 1411/IV.Of1978 "Prevención de Riesgos - Parte 4: Identificación de Riesgos de Materiales .  
NCh 2245.Of2003 "Sustancias Peligrosas - Hojas de Datos de Seguridad - Requisitos .  
NCh 2137.Of1992 "Sustancias Peligrosas - Embalajes y Envases - Terminología".  
Decreto N°298 Transporte de Cargas Peligrosas por Calles y Caminos .  
Ley N°19300 "Bases Generales del Medio Ambiente .  
Reglamentación SESMA: Página web: [www.sesma.cl](http://www.sesma.cl)

Vigente desde 22/01/2007 version N° 1

Este documento solo podrá ser impreso, no soportando modificaciones, copia, o edición.