

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



PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL QUÍMICO

FACTIBILIDAD TÉCNICA-ECONÓMICA DE UNA PLANTA DE CARRAGENINA KAPPA I

JORGE MANCILLA MARTÍNEZ

Profesor Guía
José Torres Titus

2012

AGRADECIMIENTOS

“No existe el fracaso, salvo cuando dejamos de esforzarnos”

Autor: Jean-Paul Marat.

.....Quiero dedicar este trabajo y fin de un ciclo de mi vida a quiénes debo todo, y son para mí un verdadero ejemplo de esfuerzo, dedicación, superación y vida.....a mis padres,Papitos los amo con todo mi corazón.....Simplemente Gracias.

Además quiero agradecer.....:

.....A mi hermano, por ser como es, y por confiar siempre en mi.

.....A mi pareja, por su tozudez, paciencia y respeto. Te amo Pipita por sobre todas las cosas.

.....A mis amigos, compañeros y profesores.

En especial, quiero dedicar una pequeña mención, pero muy importante a la familia Del Canto-Leiva-Rosales. Sólo ustedes saben todo lo que los estimo...Gracias por su apoyo total, sobre todo en los momentos de mayor necesidad y cuando menos se esperaba.....

JORGE ANDRÉS MANCILLA MARTÍNEZ 2012

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objetivo principal la evaluación técnica y económica a nivel de prefactibilidad de una planta productora de carragenina tipo Kappa I.

Para el desarrollo del presente proyecto se investigó las características del producto y las aplicaciones variadas que éste posee. Luego se estudió el desarrollo del mercado del producto a nivel mundial, para luego enfocarse a nivel nacional. Se realizó los balances de masa y energía necesarios para luego generar los requerimientos y diseños de los equipos a utilizar. Por último se formalizó una evaluación económica a nivel de prefactibilidad.

Se decidió que el proyecto va a producir 1.000 ton/año, con crecimiento lineal anual de 5%. Para la producción se utilizará un proceso denominado Gel-Press. La carragenina será extraída a partir de algas, tanto nacionales como importadas.

De la evaluación económica se extrae que el proyecto basados en un precio no menor a 6,2 USD/kg, es factible de realizar, con financiamiento propio o con 50% de financiamiento por terceros. Tanto el VAN como el TIR (12%) arrojan los siguientes valores: VAN de 6.581.854 USD; TIR de 81%, para capital propio y VAN de 6.425.489 USD; TIR de 117%, para capital compartido.

El proyecto generará en su primer año ingresos totales por venta igual a 7.500.000 USD, lo cual implica un margen operacional respecto del costo de fabricación del producto igual a 1.290.312 USD.

ABSTRACT

The present work has as its principal objective the technical and economic evaluation the feasibility of a factory producing a Kappa 1 carrageenan.

The development of the present project included investigation of the characteristics of the product and the varied applications for which it can be used. Furthermore, the author studied the development of an international market for this product with the goal to focus at a national level. The necessary balances of mass and energy were calculated and performed to generate the requirements and designs of the teams to be utilized. Lastly, an economic evaluation was formalized to measure feasibility.

It was determined that the project would produce 1.000 tons/year, with linear growth of 5% annually. For production, a process known as Gel-Press would be implemented. The carrageenan would be extracted from algae, both domestic and imported.

Conclusions from the economic evaluation determined that the project would be feasible with a price no less than USD 6.20 per kilogram with financing by the entity itself or with 50% financing from external third parties. Both VAN and TIR (12%) yield values: a VAN value of USD 6.581.854 and a TIR of 81% for individual capital; and a VAN value of USD 6.425.489 and a TIR of 117% for shared capital.

In its first year, the project will generate total earnings of USD 7.500.000 from sales, which implies an operational margin related to the cost of production equal to USD 1.290.312.

TABLA DE CONTENIDO GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TABLA DE CONTENIDO GENERAL.....	8
1 CAPITULO.....	1
TABLA DE CONTENIDOS.....	1
1.1 INTRODUCCION.....	2
1.1.1 Carrageninas.....	3
1.2 OBJETIVOS.....	6
1.2.1 Objetivo General.....	6
1.2.2 Objetivos Específicos.....	6
2 CAPITULO.....	7
TABLA DE CONTENIDOS.....	7
2.1 HISTORIA DE LA CARRAGENINA.....	8
2.2 CARRAGENINA, ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	9
2.2.1 Variedades de Carrageninas.....	10
2.2.2 Características Estructurales.....	12
2.3 PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.....	12
2.4 PROPIEDADES FUNCIONALES.....	13
2.5 APLICACIONES INDUSTRIALES.....	19
2.6 MATERIAS PRIMAS.....	23
2.6.1 Algas Marinas.....	23
2.6.2 Clasificación de Algas Marinas.....	23
2.6.3 Producción de Algas Marinas para Carrageninas.....	26
2.6.4 Desarrollo y Evolución de las Algas Marinas.....	27
3 CAPITULO.....	29
TABLA DE CONTENIDOS.....	29
3.1. INTRODUCCION ANÁLISIS DE MERCADO.....	30
3.2. ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE CARRAGENINAS.....	30
3.2.1. Demanda Nacional.....	30
3.2.2. Demanda Internacional.....	34
3.3. ANÁLISIS DE LA OFERTA DE CARRAGENINAS.....	35
3.3.1. Oferta Nacional.....	35
3.3.2. Oferta Mundial.....	38
3.4. ANÁLISIS DE DEMANDA Y OFERTA DE CARRAGENINAS.....	41
3.5. DEMANDA Y OFERTA DE CARRAGENINA KAPPA I.....	43
3.5.1. Demanda de Carragenina Kappa I.....	43
3.5.2. Oferta de Carragenina Kappa I.....	43
3.6. ANÁLISIS DE MATERIA PRIMA PARA CARRAGENINA KAPPA I.....	44
3.7. TENDENCIAS, PRODUCCIÓN Y PROYECCIONES DE LA CARRAGENINA KAPPA I.....	46
3.7.1. Tendencias del Mercado.....	46
3.7.2. Capacidad de Planta.....	47
3.7.3. Desarrollo de la Producción.....	48

4	CAPÍTULO	51
	TABLA DE CONTENIDOS	51
4.1	MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE CARRAGENINA	52
4.2	CARACTERÍSTICAS DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN	56
4.3	ELECCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO.....	59
4.4	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRECIPITACIÓN GEL-PRESS	60
5	CAPÍTULO.....	66
	TABLA DE CONTENIDOS	66
5.1	DATOS Y EXPERIENCIA DE LABORATORIO.....	67
5.2	ESTABLECIMIENTO DE LA PLANTA	72
6	CAPÍTULO.....	75
	TABLA DE CONTENIDOS	75
6.1	INTRODUCCIÓN	76
6.2	CONSIDERACIONES PARA LOS BALANCES	76
6.3	BALANCE DE MASA GLOBAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN	77
6.4	BALANCES DE MASA Y ENERGÍA POR ETAPAS	79
6.4.1	Extracción	79
6.4.2	Filtración Primaria	86
6.4.3	Enfriamiento.....	88
6.4.4	Precipitación.....	89
6.4.5	Tamizado Húmedo y Filtración Secundaria	90
6.4.6	Repulpado	92
6.4.7	Filtrado Final.....	94
6.4.8	Secado	95
6.4.9	Molienda y Tamizaje.....	98
7	CAPÍTULO.....	101
	TABLA DE CONTENIDOS	101
7.1	DISEÑO DE EQUIPOS.....	102
7.2	EQUIPOS PRINCIPALES.....	102
7.2.1	Extracción	102
7.2.2	Almacenamiento	112
7.2.3	Precipitación.....	114
7.2.4	Repulpado	120
7.2.5	Secado	127
7.2.6	Intercambiador de Calor.....	129
7.3	EQUIPOS AUXILIARES	134
7.3.1	Filtro Prensa	134
7.3.2	Caldera	135
7.3.3	Bombas	136
7.3.4	Molino.....	137
7.4	CUADRO RESUMEN CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE EQUIPOS	139
8	CAPÍTULO.....	140
	TABLA DE CONTENIDOS	140
8.1	ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA	141
8.2	PRODUCCIÓN DIARIA - TIEMPO PROYECTADO	143
8.3	LAYOUT DE PROCESO DISPOSICIÓN DE EQUIPOS Y LAYOUT GENERAL PLANTA	144

9	CAPÍTULO	146
	TABLA DE CONTENIDOS	146
9.1	INTRODUCCIÓN	147
9.1.1	Evaluación Económica Financiera	147
9.2	INVERSIÓN TOTAL	149
9.2.1	Capital Fijo.....	149
9.2.2	Costo de Puesta en Marcha de la Planta.....	152
9.2.3	Estimación de la Inversión Total.....	153
9.2.4	Capital de Trabajo.....	153
9.3	BENEFICIO ANUAL.....	153
9.3.1	Costo Total del Producto.....	153
9.4	INGRESOS TOTALES POR VENTAS	157
9.5	DESARROLLO DEL FLUJO DE CAJA	158
9.6	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	161
9.6.1	Factor Precios.....	161
	CONCLUSIONES.....	162
	CONCLUSIONES.....	163
	BIBLIOGRAFÍA.....	165
	ANEXOS - TABLA DE CONTENIDO GENERAL.....	166
	ANEXO A.....	167
	ACTUALIZACIÓN TENDENCIAS DE MERCADO	167
	❖ ACTUALIZACIÓN TENDENCIAS DE MERCADO	168
	ANEXO B.....	170
	BALANCE DE MASA Y ENERGÍA	170
	❖ B.1: EXTRACCIÓN	171
	❖ B.2: SECADO	172
	ANEXO C.....	174
	DISEÑO DE EQUIPOS	174
	❖ C.1: ESTANQUE ENCHAQUETADO CON AGITADOR (TIPO: VER PARA TODOS LOS ESTANQUE).....	175
	❖ C.2: MEZCLADOR ESTÁTICO	181
	❖ C.3: SECADOR	184
	❖ C.4: INTERCAMBIADOR DE CALOR	186
	❖ C.5: FILTRO PRENSA.....	192
	❖ C.6: BOMBAS	193
	ANEXO D.....	195
	Tablas, Gráficas y Datos Bibliográficos.....	195

1 CAPITULO

INTRODUCCION Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

TABLA DE CONTENIDOS

1.1	INTRODUCCION	2
1.2	OBJETIVOS	6

1.1 INTRODUCCION

Los espesantes y gelificantes alimenticios, a veces, llamados gomas hidrosolubles o hidrocoloides, son macromoléculas que se disuelven o dispersan fácilmente en el agua para producir un aumento considerable de la viscosidad y en ciertos casos, un efecto gelificante.

Según su origen, se distinguen en:

- Las gomas de origen vegetal, esencialmente de naturaleza glucídica.
- Las gomas de origen animal de naturaleza proteica (caseínatos y gelatina).

He aquí la descripción de la procedencia de los principales agentes espesantes y gelificantes usados en los distintos mercados de aditivos alimenticios.

Extractos de Algas (vegetal)	Alginato Carragenina Agar-agar Furcellarana
Extractos de Semillas (vegetal)	Goma Guar Garrofín
Exudados de Plantas (vegetal)	Goma Arábica Goma Tragacanto Goma Karaya
Extractos de Subproductos Vegetales (vegetal)	Pectinas
Exudados de Microorganismos	Goma Xantan
Derivados de la Celulosa (vegetal)	Metil Celulosa Carboximetilcelulosa
Animal (animal)	Gelatina

Tabla 1.1 Origen y Tipos de Hidrocoloides.

1.1.1 Carrageninas

Las carrageninas son extractos de las algas marinas rojas, que se encuentran en varias regiones del mundo. Los extractos de estas algas, llamados ficocoloides o hidrocoloides son en su forma molecular primaria, polisacáridos sulfatados con un contenido variable de esteres, que dan origen a los tres tipos básicos de carrageninas, las que son únicas y de diversas cualidades.

Tipos de Carrageninas

- KAPPA.
- IOTA.
- LAMBDA.

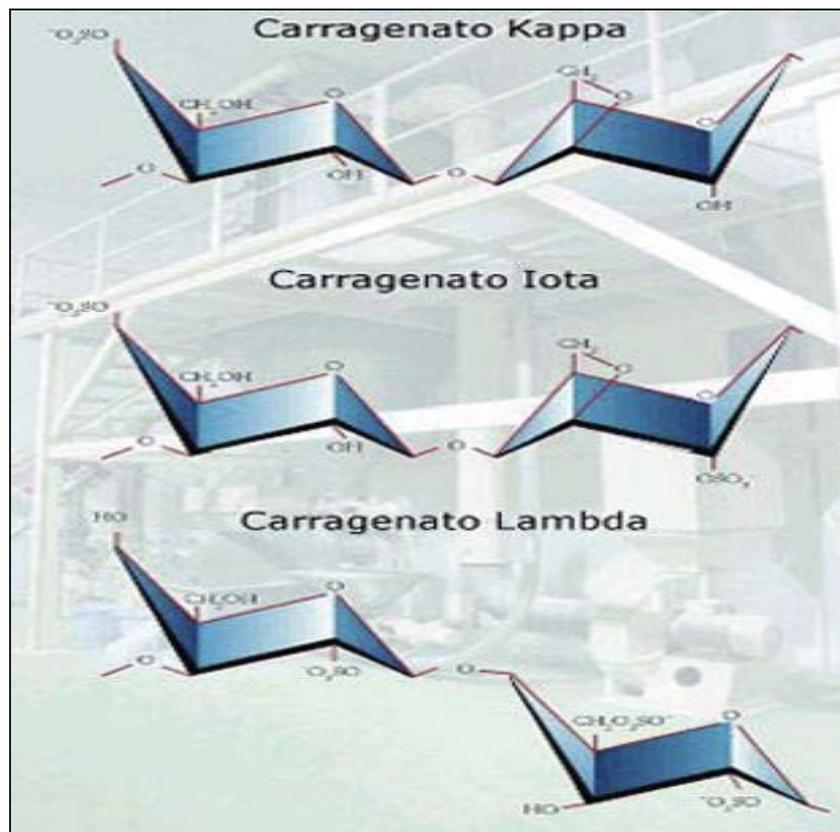


Figura 1.1 Estructura Molecular de las Carrageninas.

Las propiedades de las carrageninas son diversas y éstas se traducen en funciones del tipo emulgente, estabilizante, espesante, viscosante y gelificante, con la particularidad de realizar o generara estas muchas funciones en medios acuosos a muy bajas concentraciones.

El uso que se le ha dado tradicionalmente a este producto ha sido mayoritariamente en la industria alimentaria (patés, salsas, mermeladas, productos lácteos, etc.), la carragenina no aporta calorías a estos productos (no son asimilados por el intestino humano), ni sabor y tampoco color, por lo cual éste es un ingrediente fundamental para productos “light”, de dietas de adelgazamiento y antiestreñimiento. Gracias a las propiedades reológicas (viscosidad, plasticidad, suavidad, pegajosidad, textura o sensación en la boca), biológicas y físico-químicas específicas descubiertas en los últimos años para cada tipo de carragenina, se ha extendido el número de productos al cuál aplicar éstas, abarcando aparte de la industria alimentaria, a la textil, biotecnológica, farmacéutica, cosmética y agroalimentaria.

El proceso de extracción y elaboración de carragenina en su parte básica comienza con la adquisición y recolección de diversos tipos de algas marinas (Rhodophiceas). Las algas son clasificadas y rigurosamente sometidas a lavados para así deshacerse de cualquier tipo de impurezas. Posteriormente el alga seleccionada y lavada pasa a una etapa de extracción acuosa, para poder obtener la carragenina deseada. El producto puro se obtiene por medio de procesos de clarificado y precipitado, etapa donde se puede apreciar que el producto posee un aspecto muy fibroso, éste material se desagua (o deshidrata), seca y muele, hasta obtener los requerimientos de tamaño de partícula. El producto es finalmente mezclado y estandarizado para obtener las propiedades funcionales deseadas para su comercialización.

Se espera que la carragenina muestre un crecimiento sólido, dado el aumento en su utilización en las industrias procesadoras de carne y pollo. Se predice que el patrón a seguir es de comidas saludables, productos bajos en calorías y en grasas, esto determinará en los años venideros un giro en la industria alimenticia, la que tomará una nueva dirección hacia las llamadas comidas fortificantes. Los requerimientos de certificación favorecerán este

patrón, las gomas naturales en general y de sobremanera la carragenina se beneficiarán dado que la industria de alimentos está buscando hacer difusión dirigida a la utilización cada vez mayor de aditivos naturales.

Si bien por bastante tiempo el uso de las carrageninas estuvo asociado a productos lácteos, alimentos preparados y cuidado personal, por nombrar algunas aplicaciones, a comienzos del año 2000 el consumo a nivel mundial de este producto aumentó significativamente en la utilización de carnes procesadas y en productos de dieta, tanto líquidos como en polvo. Todo esto gracias a sus propiedades gelificantes y por su capacidad de retener humedad.

Nuestro país contribuye con aproximadamente el 20% de las algas para la producción de carragenina a nivel mundial, esta es una de las razones por las que Chile, a través de sus algas de aguas frías, ha sido parte importante del crecimiento de esta industria en el último tiempo. En lo referente a la investigación de la materia prima, tanto las instituciones educativas (universidades, institutos) y la empresa privada, ya están trabajando para dar respuestas a la problemática que se plantea acerca de la sobre explotación de este recurso natural, ya se conoce en detalle el ciclo de vida de las algas, por lo tanto también se sabe en qué periodos recolectarla, es así como se ha logrado hoy en día que el alga utilizada para la exportación (como materia prima) y el alga para producir carragenina provenga en parte considerable de sitios o sistemas de cultivo, por lo cual cada vez es menor la cantidad de algas que se extrae de praderas naturales.

Son estas características, números y proyecciones, que fortalecen el desarrollo de este proyecto, tomando en consideración la apertura del mercado, la gran cantidad de nuevas aplicaciones y su categoría de aditivo totalmente natural.

Básicamente los distintos tipos de carrageninas provienen de cinco tipos de algas marinas, dos de aguas cálidas y tres de aguas frías. Chile aporta con la mayor cantidad de algas de aguas frías del mercado, por otro lado están las algas de aguas cálidas las que son de origen filipino e indonés principalmente, ambas variedades de materias primas

proporcionan sobre el 95% de la carragenina comercializada en el mundo, el 75% de éstas son del tipo Kappa I e Iota (aguas cálidas), el resto representa a las carrageninas Kappa II y Lambda (aguas frías).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

El desarrollo del mercado de las carrageninas hace años que tiende a crecer, gracias a sus propiedades funcionales, rendimiento y a su gran campo de aplicación en la industria de hoy, del mismo modo considerando que Chile posee una apreciable importancia a nivel mundial en cuanto a producción de carrageninas y como proveedor de algas marinas. Es de importancia estudiar en forma general y específica todo lo relacionado con este tema en nuestro país. El desarrollo de este trabajo trae consigo un estudio profundo sobre materias diversas del campo de la ingeniería.

Este proyecto tiene como objetivo general la realización y evaluación de un diseño e implementación total de una planta de producción, es decir, Factibilidad Técnica Económica de una Planta de Carragenina Kappa I.

1.2.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos están relacionados con la obtención de información sobre la actualidad del mercado de la carragenina tanto en Chile como en el extranjero. Conocer todo acerca de las materias primas; producción, origen, precios, etc. Seleccionar el proceso de producción para la fabricación de la carragenina deseada. Realizar los balances de masas y energía, previamente determinada la capacidad de la planta, es decir, el volumen de producción, para dar paso al diseño de equipos y finalmente concluir con la evaluación económica que determinará la factibilidad del proyecto y las posibilidades de concretarlo.

2 CAPITULO

BASES TEÓRICAS

TABLA DE CONTENIDOS

2.1	HISTORIA DE LA CARRAGENINA.....	8
2.2	CARRAGENINA, ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA	9
2.3	PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	12
2.4	PROPIEDADES FUNCIONALES	13
2.5	APLICACIONES INDUSTRIALES	19
2.6	MATERIAS PRIMAS	23

2.1 HISTORIA DE LA CARRAGENINA

La utilización de hidrocoloides de algas marinas para consumo humano y para aditivos de alimentos data de cientos de años atrás. Las aplicaciones iniciales consistieron en el uso del alga cruda, en su totalidad, usualmente cocinándola en agua o leche y combinándola con otros ingredientes, tales como carne o azúcar cruda, para producir probablemente uno de los primeros alimentos fabricados. Debido a que esos primeros sistemas alimenticios basados en agua o leche, fueron simples en su propósito de entregar un alimento con otras características, hubo pocas restricciones o normas a seguir, ya que el control de calidad era esencialmente inexistente. Los alimentos eran consumidos, sin estar debidamente regulados respecto a su calidad, puesto que no había marcas compitiendo en el mercado. Con el advenimiento y desarrollo de la moderna tecnología de alimentos, se generaron productos más sofisticados que involucraron una compleja combinación de ingredientes, para lograr un balance nutricional y organoléptico adecuado. Considerando que una simple mezcla de ingredientes no siempre presenta estabilidad, ya que ésta puede mostrar separación de fases, tales como aceite y agua, o sedimentación, tal como cocoa en chocolate con leche, o las especias en aderezos para ensaladas, se generó la necesidad de utilizar estabilizantes, tales como carrageninas, que permitieran soportar productos alimenticios cada vez más complejos.

Los primeros registros que se tienen de aplicación de las algas nos llevan a Europa en donde los residentes del condado de Carraghen en la costa sur de Irlanda usaban el “musgo irlandés” en los alimentos y medicinas hace más de 600 años, principalmente debido a su propiedad única de gelificar la leche. Al mismo tiempo, estas algas eran recolectadas a lo largo de las costas de Francia, en particular en la región de Brittany. El liquen (alga que crece en rocas, de color verde o rojiza) recolectado, una vez blanqueado era utilizado para preparar un gel de leche conocido como “blanc-mange”, cuya traducción sería “comida blanca”. Este alimento se obtenía enfriando la leche en la cual se habían cocido las algas. Similares procedimientos se registraban en USA, sin embargo, no fue hasta el final de la Segunda Guerra Mundial, en que se inició la producción industrial de algunas especies.

Algunos aportes importantes en la investigación y descubrimientos acerca de las carrageninas han sido fruto de los trabajos realizados por: Smith y Cook (1953) quienes separaron dos fracciones del extracto de *Chondrus Crispus* (un tipo de alga), uno insoluble en presencia de ión K^+ (Kappa) y la otra soluble (Lambda). O'Neill (1955) determinó la estructura básica de estas fracciones. Rees (1963) identificó un tercer tipo de carragenina (Iota). Chen (1973) reportaron que kappa y lambda no existían juntas en las mismas plantas de *Chondrus* y *Gigartina*.

Existen distintas formas de denominación para las carrageninas, entre las cuales las más importantes son:

- Carrageen : Codificación alimenticia de la FAO.
- Carragenato : En relación a su naturaleza de sal.
- Carragenina : Código sanitario de alimentos.
- Carragenano : IUPAC, traducción más correcta.

2.2 CARRAGENINA, ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA

Las carrageninas son un grupo de polisacáridos naturales que están presentes en la estructura de ciertas variedades de algas rojas *Rhodophyceae* (Rodófitas). Estos polisacáridos tienen la particularidad de formar coloides espesos o geles en medios acuosos a muy bajas concentraciones. Debido a estas excepcionales propiedades funcionales son ampliamente utilizados como ingredientes (aditivos) en diversas aplicaciones.

Las carrageninas tienen características estructurales comunes, las unidades repetidas de azúcar se basa en galactosa, específicamente D-Galactosa y 3,6 Anhidro-D-Galactosa, glicosidicamente enlazadas a lo largo de posiciones alternas α 1,3 y β 1,4. Este enlace da a las carrageninas un efecto helicoidal, el cual, a su vez, permite que dos moléculas de idéntica carragenina formen una doble hélice tipo “ADN”.

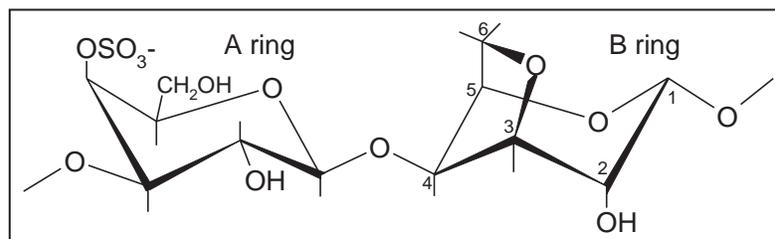
Entre sus particularidades principales se destaca:

- La presencia de diferentes grados de sulfatación o piruvación (sustitución parcial).
- Son moléculas grandes y complejas con gran posibilidad de variación estructural, más de 1000 residuos.
- Carácter fuertemente aniónico, son capaces de formar complejos no solo con materiales catiónicos, sino también con materiales anfotéricos (Proteínas).
- Tiene la posibilidad de ser solubles en agua e insolubles en solventes orgánicos (alcohol), o sea, es de carácter hidrofílica.

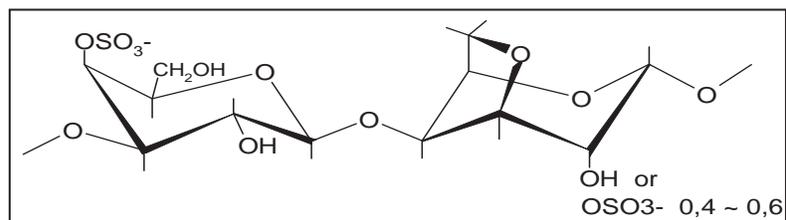
2.2.1 Variedades de Carrageninas

La posibilidad de obtener una gama amplia de carrageninas es muy probable, pero hoy en día, se conocen cuatro tipos de importancia industrial, Kappa I, Kappa II, Iota y Lambda, las que se diferencian solo en la cantidad de esteres sulfatados y en la posición que éstos ocupan en la molécula.

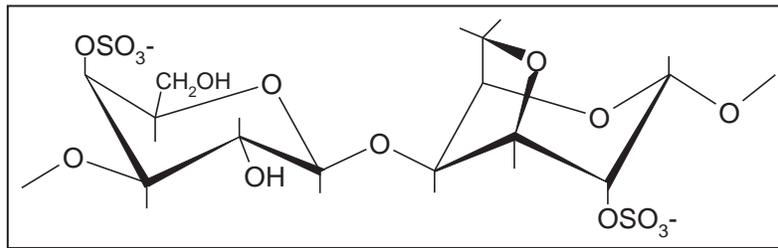
Kappa I



Kappa II



Iota



Lambda

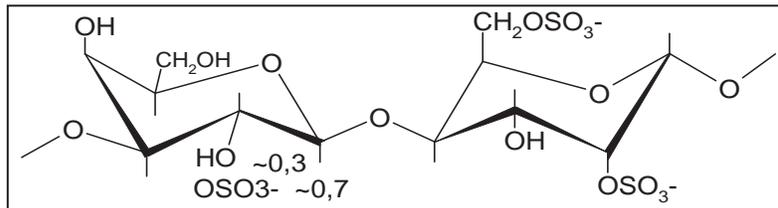


Figura 2.1 Composición Molecular de las Carrageninas Comerciales.

Los diferentes tipos de carrageninas en solución presenta la forma que se muestra en la figura que sigue acorde a sus características.

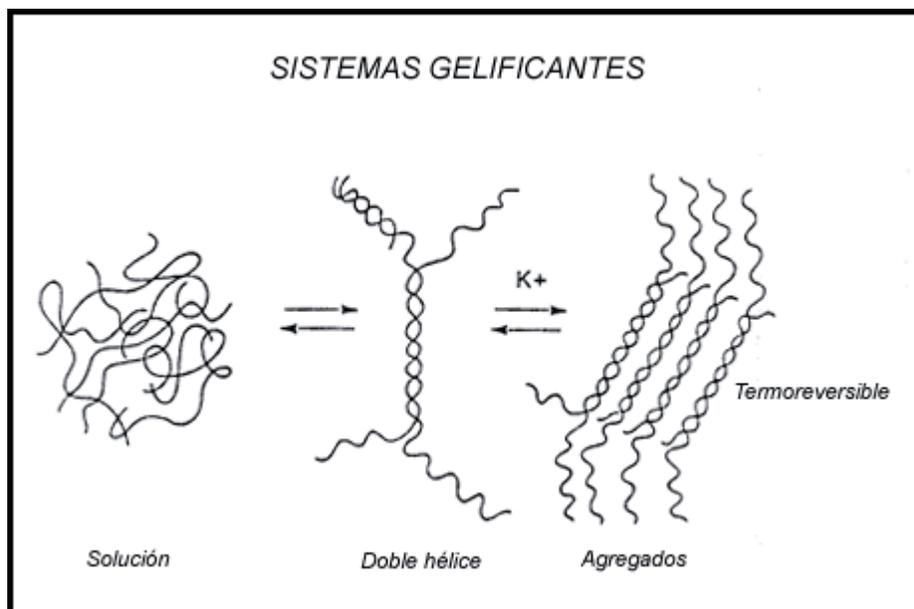


Figura 2.2 Carrageninas: Solución (Lambda), Intermedio (Iota y Kappa II) y Gelificada (Kappa I).

2.2.2 Características Estructurales

Las unidades repetidas del disacárido básico, para los distintos tipos de carrageninas, se dan en la tabla siguiente:

Unidades Repetidas en las Carrageninas	
<i>Carragenina</i>	<i>Unidades repetidas.</i>
Kappa	D-galactosa-4-sulfato 3,6 anhidro-D-galactosa
Iota	D-galactosa-4-sulfato 3,6 anhidro D-galactosa-2-sulfato
Lambda	D-galactosa-2-sulfato D-galactosa-2,6-bisulfato

Tabla 2.1 Unidades de Disacáridos Repetidos en las Carrageninas.

La cantidad de 3,6 anhidro D-galactosa (nombre resumido como AG) es de 36 % para carragenina Kappa I, 34-30 % Kappa II y 28 % para Iota. Como se ve en la tabla anterior la fracción Lambda no posee AG.

El contenido de esteres de sulfatos para los cuatro tipos de carrageninas es:

Unidades Repetidas en las Carrageninas	
Carragenina	% Ester sulfato
Kappa I	18 – 25
Kappa II	20 – 28
Iota	25 – 34
Lambda	30 - 40

Tabla 2.2 Porcentaje de Contenido de Ester de Sulfato en las Carrageninas.

2.3 PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

El peso molecular de las carrageninas expresados en Kilo Dalton (KD), es de 100 a 300 KD para carragenina tipo Kappa 1, de 300 a 500 KD para Kappa 2, de 500 a 700 KD

para carragenina tipo Iota y finalmente superior a 700 KD para las carrageninas de tipo Lambda, el KD esta relacionado con la masa atómica del oxígeno y es equivalente a las unidades de gr/gr-mol. La apariencia de las carrageninas como producto final, es un polvo de color blanco crema que presenta buena fluidez y forma soluciones transparentes, inodoras e insípidas con agua.

Características Físico-Químicas de la Carragenina	
Contenido y Propiedades	Cantidad
Celulosa	< 1%
Nitrógeno	< 0,05%
Materia Insoluble en Ácido	< 0,8%
Ceniza	< 45%
Metales Pesados	< 0,001%
Arsénico	< 0,0002%
Humedad	< 12%
Potasio	7%
Sodio	2%
Calcio	0,35%
Densidad	0,57-0,60 [gr/cm ³]
Viscosidad	10-20 [cP]
pH	7-10
Granulometría (bajo malla # 200)	> 95%

Tabla 2.3 Características Físicas y Químicas de la Carragenina.

2.4 PROPIEDADES FUNCIONALES

Las propiedades funcionales aportadas por los distintos tipos de carragenina permiten a los productos en las cuales son aplicadas éstas, obtener diferentes características. Estas propiedades funcionales, logran mejorar en el producto final varias particularidades propias

como son; texturas, cohesividad, consistencia, permiten facilitar el corte, reducir la sinéresis y mejorar la apariencia en general. Además es posible reducir costos en los sistemas en que son aplicadas y reemplazar, en cierta proporción, proteínas o grasas de la formulación manteniendo las propiedades del producto.

Las principales propiedades funcionales de las carrageninas son las que siguen:

- a) **Texturizante:** Las carrageninas tipo Kappa I, Kappa II e Iota producen geles estables en agua o leche a temperatura ambiente (sin necesidad de refrigeración). Las mezclas entre los diferentes tipos de carragenina permiten obtener una amplia gama de texturas, desde geles firmes y quebradizos hasta suaves y cremosos.
- b) **Retenedor de Humedad:** Debido a la capacidad de formación de gel, las carrageninas permiten retener humedad en productos que son sometidos a procesamiento o tratamientos térmicos, mejorando y extendiendo el tiempo de conservación del producto y aumentando su rendimiento.
- c) **Suspensión:** Las carrageninas tipo Kappa I y Kappa II, a bajas concentraciones, forman un gel imperceptible capaz de suspender sólidos en leche y también en agua.
- d) **Espesante:** Las carrageninas tipo Kappa II e Iota son agentes espesantes en agua o leche en caliente; mientras que las de tipo Lambda son agentes espesantes en productos que se preparan mediante disolución en frío.
- e) **Estabilización:** Gracias a la capacidad de gelificación y a la fuerte interacción electrostática, las carrageninas tienen la capacidad de estabilizar emulsiones. Debido a su alta especificidad son los únicos agentes capaces de estabilizar sin modificar la textura del sistema.
- f) **Viscosidad:** Las distintas carrageninas forman con el agua soluciones con

características pseudoplásticas, la viscosidad está estrechamente relacionada con el tipo de carragenina que se esté tratando, el peso molecular promedio y la concentración de carragenina que se use en la solución preparada. La carragenina Lambda es la que aporta mayor viscosidad, luego aparece Iota, seguida de Kappa II. Finalmente la carragenina Kappa I produce muy escasa viscosidad.

g) Solubilidad: La solubilidad está determinada por la acción hidrofílica de los ester de sulfato y en menor grado por los grupos de AG que tienen características hidrofílicas mas baja. Por lo anterior la carragenina Lambda es la más soluble, ésta propiedad disminuye en las carrageninas de la forma que sigue; Iota, Kappa II y Kappa I. La carragenina Lambda se disuelve en agua a temperatura ambiente, esto es posible gracias a que no tiene en su estructura grupos AG. Por otro lado las carrageninas tipo Kappa e Iota necesitan de calor para lograr disolverse. Las fracciones Kappa deben alcanzar cerca de 80 °C y la Iota sobre 40 °C, en solución acuosa para disolverse. Las sales presentes en los grupos ester sulfatos afectan la solubilidad, algunas sales no necesitan calor para disolverse como es el caso de sales de sodio, éstas son mas solubles que las sales de potasio, las cuales sin temperatura no se disuelven completamente. Los solutos presentes en la solución en concentraciones considerables bajan la solubilidad de las carrageninas, ya que estos comienzan a competir por el agua presente.

Las carrageninas alcanzan su solubilización total a los 80 °C.

h) Gelificación: Luego de alcanzar su total solubilización con temperatura, durante el proceso de enfriamiento se manifiesta una fuerte ligazón de hidrógeno, la que permite la aparición de cadenas tipo doble hélice, que se ordenan linealmente en presencia de cationes para así dar paso a una formación helicoidal tridimensional, generando una “textura de gel” en el medio acuoso. Todas las carrageninas forman geles a bajas concentraciones con la excepción de la carragenina Lambda, la que no forma geles. En el agua la concentración de las carrageninas es de sobre un 0,5 % para formar geles y en la leche debe sólo ser superior a 0,2 %. La leche no

necesita iones para que gelifiquen las carrageninas pero en agua se requiere la presencia tanto de iones de potasio como también iones de calcio. Los geles producidos por las carrageninas pueden ser sometidos a series de ciclos de calentamiento y enfriamiento, sin manifestar una considerable pérdida de su estructura.

- i) **Sinergismo:** Las carrageninas Kappa son sinérgicas con algunos galactomananos como la harina de Konjac y la goma de Algarrobo, en su estado semi-refinado o clarificado. Este sinergismo se demuestra en un gel con baja sinéresis (ésta es la exudación de agua, de un sistema sólido) y fragilidad reducida, lo que deriva en un gel duro y elástico, pese a que ambas gomas no gelifican por si solas. En sistemas donde está presente el almidón el sinergismo proviene de la interacción de éste con la carragenina Iota para producir un aumento de al menos diez veces el valor de viscosidad alcanzado si solo estuviese actuando el almidón.
- j) **Interacción con Proteínas:** La propiedad más importante o una de las de mayor relevancia de la carragenina, es su capacidad de hacer que complejos proteínicos de la leche, formen estructuras alimenticias modificadas. En términos generales se explica que la interacción entre carragenina y proteína, tiene dos mecanismos: *Atracción Electrostática* y *Formación de Puentes Bivalentes*. En el primer mecanismo se ha encontrado que las carrageninas kappa poseen una poderosa red de carga positiva, en la primera parte de su molécula. Los aminoácidos ordenados tienen una red de carga positiva, ubicado en la superficie de la micela de caseína, esta carga permite la atracción fuertemente de grupos sulfato negativos adjuntos a la cadena de la carragenina, los cuales reaccionan formando enlaces entre ellos. De todas las fracciones de proteína en la leche, la caseína kappa es la más reactiva. En el segundo mecanismo (Formación de Puentes Bivalentes), se produce una formación de puentes bivalentes entre el grupo ester sulfato de la carragenina y un grupo carboxilo contenido en el complejo aminoácido, que constituye la macromolécula proteínica de la leche. Estos puentes forman un gel acuoso donde la carragenina capta las moléculas de agua.

De todas maneras, la interacción carragenina-proteína, es una combinación de los dos mecanismos, los que ayudan a estabilizar la emulsión de la leche.

- k) Interacción con Sales:** Las carrageninas Kappa sufren fuertes reacciones con sales como lo son las de calcio y potasio, éstas aumentan la dureza, sinéresis y temperatura de gelificación de sus geles en sistemas de agua. Por otro lado las sales de sodio y potasio que vienen de citratos o fosfatos actúan ayudando en la solubilidad tanto en frío como en caliente a las carrageninas, bajando la viscosidad de los sistemas. También colaboran con la estabilidad de las carrageninas en medios ácidos.
- l) Estabilidad pH:** El mejor rango de pH para el comportamiento de la carragenina, está entre 4 y 10, siendo el nivel ideal para la mayoría de los sistemas alimenticios. Por debajo de pH 7, las fallas en el comportamiento son aceleradas, por el efecto de la temperatura y por reducciones mayores del pH, pero existen varios métodos aplicables, para minimizar este efecto indeseable del pH en la aplicación de las carrageninas. Con técnicas HTST (alta temperatura, tiempo corto), UHT (ultra alta temperatura) y sistema de llenado aséptico, se logra minimizar este tipo de problemas.
- m) Tixotropía:** La carragenina Iota presenta un comportamiento tixotrópico, es decir, que el esfuerzo de corte disminuye con el tiempo, esta conducta hace posible que la carragenina sea capaz de recuperar su forma de gel, luego de aplicado un esfuerzo de corte o agitación que haya producido alguna rotura en su estructura.
- n) Sinéresis :** Las carrageninas son capaces de reducir la sinéresis, fenómeno que se observa en la coagulación de las disoluciones coloidales, la cual es seguida durante un tiempo más o menos prolongado, de una exudación del líquido contenido por el coágulo o jalea, y éste, al mismo tiempo que endurece, disminuye progresivamente de volumen de algunos productos lácteos. La sinéresis es determinada como la

diferencia de peso de un gel, antes y después un período de refrigeración.

En resumen las propiedades de las carrageninas son amplias y específicas para cada una de ellas.

Kappa I: Debido al alto contenido de 3,6 AG forma geles firmes y quebradizos en agua y leche con cierta sinéresis. Buen retenedor de agua.

Kappa II: Forma geles firmes y elásticos en agua y leche. Baja sinéresis y muy alta reactividad con leche.

Iota: Forma geles elásticos en agua y leche con baja sinéresis. Buena estabilidad a ciclos de congelado y descongelado (enfriamiento y calentamiento).

Lambda: Por la ausencia de 3,6 AG, ésta no gelifica y debido a su alto grado de sulfatación es la fracción más soluble en agua y leche fría, impartiendo a estos sistemas alta viscosidad.

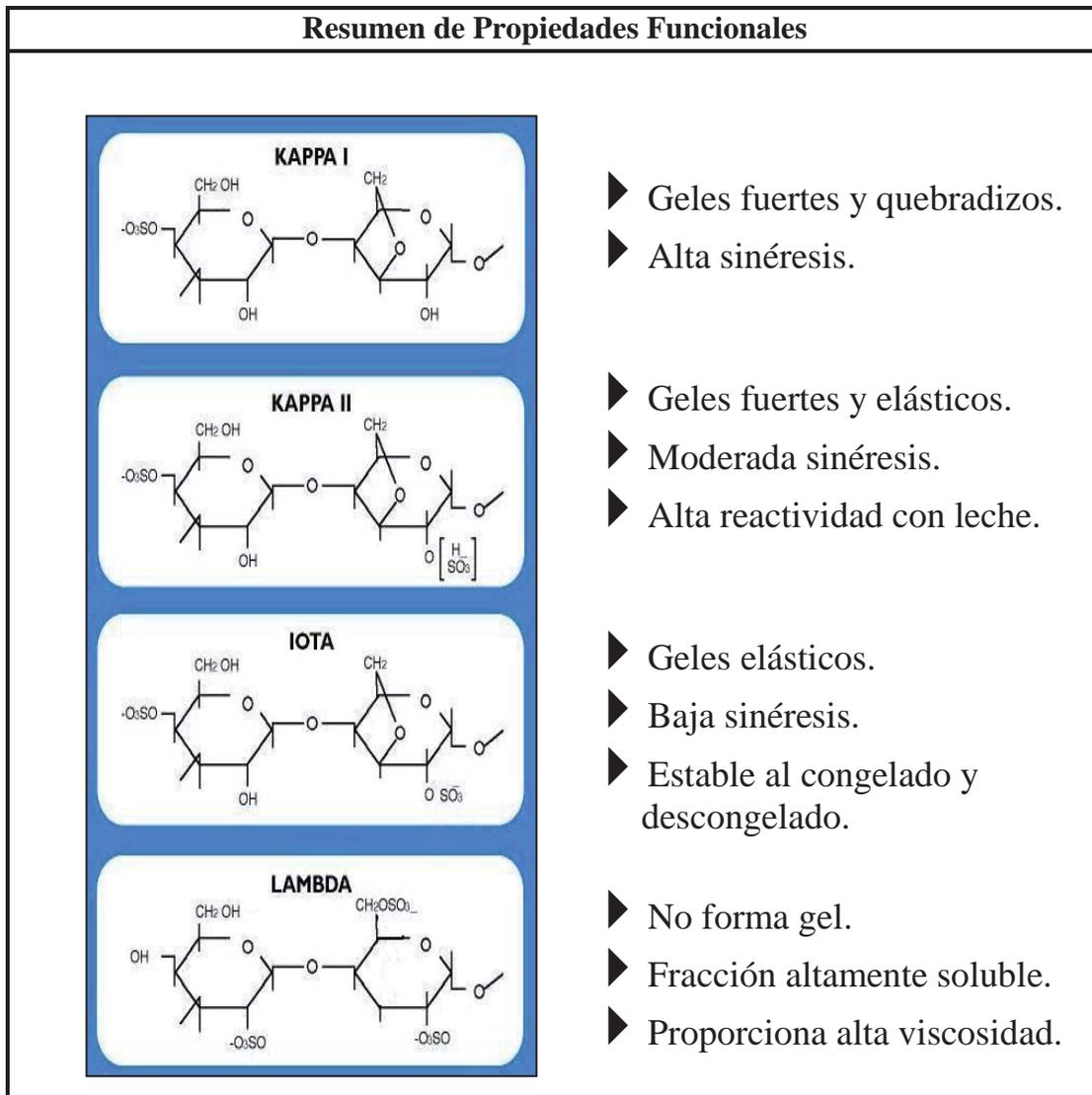


Figura 2.3 Propiedades Funcionales de las Carrageninas.

2.5 APLICACIONES INDUSTRIALES

A raíz de las propiedades funcionales que poseen las carrageninas, éstas son utilizadas principalmente en las industrias del tipo; *alimentaria, farmacéutica y cosmética*. En productos tales como: mermeladas, jugos de fruta, carnes procesadas (hamburguesas, nuggets), postres de gelatina, pasta de dientes y cervezas entre otros.

- a) **Productos Cárnicos:** En estos productos las carrageninas cumplen funciones diversas tales como gelificar, dar textura, ligar jugos y salmueras, controlar la

sinéresis, mejorar la idoneidad de la pieza para ser cortada en trozos y la capacidad de sustituir grasas y proteínas.

- b) Productos Lácteos:** Es especial en estos productos la sinergia que se da entre la carragenina y las proteínas de la leche, convierte al primero en un producto fundamental para un amplio campo de aplicaciones dentro del sector lácteo. Entre los beneficios del uso de las carrageninas en los productos lácteos se encuentra la mejora de la calidad organoléptica del producto, el incremento de su periodo de vida y la reducción de costos de producción (la carragenina es un producto sustituto mas económico que los hidrocoloides ya existentes).
- c) Productos Geles de Agua:** Gelificar los productos de agua, controlar sus texturas, mejorar la moldeabilidad y la liberación del sabor de las gelatinas de fruta, sustituir la gelatina o reducir el riesgo de sinéresis en el producto final, son algunas aplicaciones donde la carragenina es la solución más eficiente.
- d) Productos No alimenticios:** La carragenina tiene variadas aplicaciones fuera del sector alimentario, como en pastas de dientes, clarificación de cervezas, productos cosméticos, remedios o ambientadores (barras de aerosoles), en los que se utiliza para controlar sus texturas y fluidez, para alargar su periodo de vida o para reducir los costos de producción.

Tabla de Aplicaciones de las Carrageninas

Aplicación	Función Principal de la Carragenina	Ventajas Adicionales
Productos de Carne, Aves y Pescado	<ul style="list-style-type: none"> • Adhesión de jugos y salmuera. • Control de sinéresis. • Gelificación y texturización. • Substitución de grasas y proteínas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar la ganancia de peso / producción. • Mejorar la consistencia y el corte en trozos. • Reducir la pérdida de líquido y facilidad de corte
Producto Lácteo Listo para Consumir y Formulación en Polvos	<ul style="list-style-type: none"> • Gelificación. • Espesamiento. • Substitución de grasas y proteínas. • Estabilización. • Cuerpo y sensación en la boca. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja dosificación debido a la reactividad con las proteínas de la leche. • Capacidad para proveer cualquier textura deseada. • Mejora de la calidad organoléptica.
Productos Basados en Agua	<ul style="list-style-type: none"> • Gelificación. • Espesamiento. • Control de sinéresis. • Sensación en la boca. 	<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de proveer cualquier textura deseada. • Mejora de la calidad organoléptica. • Buena liberación del sabor. • Transparencia. • Productos bajos en calorías.

Tabla 2.4 Aplicación, Función y Ventajas de la Carragenina en diversos productos.

De acuerdo a referencias obtenidas de Gelymar S.A. y a datos recopilados de revistas especializadas como Aqua Noticias, se presenta a continuación la forma en que está distribuida la utilización de las carrageninas obedeciendo al grupo alimenticio en el que se aplique.

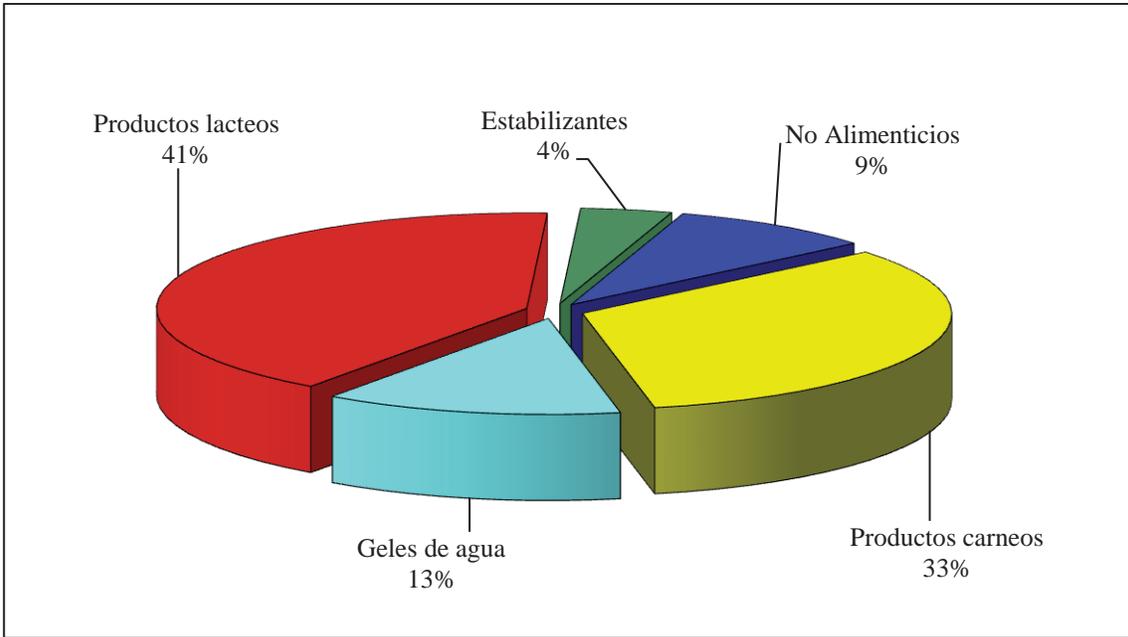


Figura 2.4 Uso de Carrageninas en la Industria según su Aplicación.



Figura 2.5 Carragenina antes del proceso de molienda y finalizado el Proceso.

2.6 MATERIAS PRIMAS

2.6.1 Algas Marinas

Las algas marinas son una pieza clave de nuestra vida cotidiana. Aunque es muy probable que podamos sobrevivir sin usar las algas y sus diversos derivados, nuestra existencia no sería la misma sin ellas. Aún sin pensarlo, todo el tiempo estamos en contacto con algún derivado de las algas. Éstas forman parte de una cantidad sorprendente en alimentos, fármacos, hasta en pintura y en nuestra ropa. Las algas son fuente de muchos productos útiles. Tal es el caso de los ficoloides o hidrocoloides, que son unos polisacáridos complejos obtenidos de las algas de las divisiones **Phaeophyceae (feofitas)** y **Rhodophyceae (rodófitas)**, que forman sustancias coloidales cuando son dispersados en agua. Los polisacáridos extraídos de las distintas especies de algas más importantes son: carragenina, alginatos, agar, laminarina, fucoidina y los galactanos.

2.6.2 Clasificación de Algas Marinas

Las carrageninas específicamente se obtienen de las algas pertenecientes al grupo de las rodófitas que a su vez se dividen en dos familias; Gigartinaceas y Soliriaceas. Estas algas son recolectadas de zonas tropicales, principalmente Filipinas e Indonesia y de zonas aguas frías, Chile, Perú, Canadá e Inglaterra en el norte.

a) *Algas Marinas Soliriaceas*

- ***Kappaphycus Alvarezii*** (*Eucheuma Cottonii*): Alga tropical que se encuentra principalmente en el Archipiélago de las Sulu, áreas adyacentes y al este de Sabah (Malasia), Filipinas e Indonesia. Esta especie crece en el submareal, sobre arrecifes planos con sustrato coralináceos de arena gruesa. Desde ambientes expuestos a aquellos con moderado movimiento de agua. Es de color café o verde con espinas dispuestas en forma desordenada. Su ciclo de vida es trifásico y se obtiene de esta alga carragenina del tipo Kappa I.



Figura 2.6 Kappaphycus Alvarezii.

- ***Eucheuma Denticulatum*** (*Eucheuma Spinosum*): Alga tropical que se encuentra naturalmente en el norte de Australia, Indonesia, Malasia, Filipinas y los grupos mayores de las islas relacionadas en el lejano oeste tropical hasta Nueva Caledonia. Comúnmente se encuentra creciendo fuertemente adherida a sustrato coralino de roca-grava o roca arena gruesa, desde el intermareal al submareal superior (somero) sobre arrecifes expuestos a acción moderada de las olas o fuertes corrientes de marea. Es de color amarillo a café, tiene espinas de 1 a 8 mm dispuestas en espiral a intervalos irregulares y tiene también espinas cortas y cónicas. La especie es perenne y se reproduce principalmente de manera vegetativa, aunque posee un ciclo de vida trifásico. De esta especie se obtiene carragenina Iota.



Figura 2.7 Eucheuma Denticulatum.

b) Algas Marinas Gigartinaceas

- ***Gigartina Skottsbergii*** (Luga Roja): Alga de aguas frías endémica del extremo sur de Sudamérica principalmente en las costas de Chile e Islas Malvinas. A lo

largo de Chile se le conoce desde el Cabo de Hornos hasta Valdivia. Habita en lugares submareales protegidos del oleaje y alcanza hasta 10 m de profundidad, creciendo sobre roca o piedras. Es de color púrpura o pardo rojizo y textura gruesa y cartilaginosa. Se caracteriza por un sistema de fijación que se desarrolla en la cara opuesta formado por filamentos rizoidales gruesos de hasta 2 mm de ancho y de 2 a 3 cm de largo. Su ciclo de vida es trifásico y es productora de carragenina del tipo Kappa II y lambda.



Figura 2.8 Gigartina Skottsbergii.

- *Sarcothalia Crispata* (Luga Negra): Alga de aguas frías la cual ha sido recolectada desde el sur del Perú y toda la costa de Chile. Esta especie ocupa el nivel intermareal, aunque es más abundante en playas y roqueríos con cierto resguardo del oleaje, donde sus frondas anchas se ven de color rojo - púrpura, pardo - rojizo o negras. La planta está constituida por una, dos láminas anchas, orbicular, que se adhieren al sustrato por medio de un pequeño disco. Tiene una base redondeada, expandida, que generalmente tiene pequeñas proliferaciones de 1 cm de largo. Su ciclo de vida es trifásico y es productora de carragenina del tipo Kappa II y lambda.

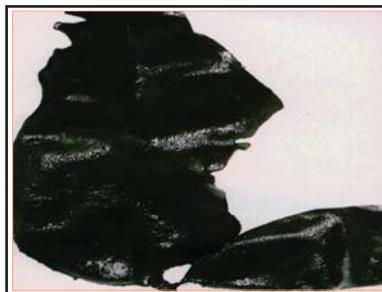


Figura 2.9 Sarcothalia Crispata.

- ***Chondracantus chamissoi*** (Chicoria de Mar): Esta especie endémica de Perú y Chile. En Chile ha sido recolectada en numerosas localidades entre Chiloé e Iquique. Las plantas crecen en la zona intermareal y submareal hasta unos 15 m de profundidad, especialmente en bahías tranquilas y protegidas del oleaje. Son plantas ramificadas con ejes en forma de lámina angosta de hasta 30 a 40 cm de longitud. El disco de fijación es pequeño y sostiene al eje principal que se angosta hacia la base. Las plantas forman masas de frondas membranosas, de distintos tonos de rojo. Su ciclo de vida es trifásico y es productora de carragenina del tipo kappa II y lambda.



Figura 2.10 Chondracantus Chamissoi.

2.6.3 Producción de Algas Marinas para Carrageninas

La recolección mundial de materias primas para la elaboración de las distintas clases de carrageninas, superan las 120 mil toneladas anuales, de las cuales la mayor parte pertenece al grupo de las algas marinas *Kappaphycus Alvarezii*, abarcando cerca del 70% del total del mercado, lo que implica que la carragenina Kappa I es la más importante en cuanto a la cantidad comercializada. A continuación se detalla en forma específica las producciones anuales de cada tipo de algas marinas, incluyendo el porcentaje y tipo de carrageninas que se obtienen de cada una de ellas.

TIPO DE ALGA	PRODUCCIÓN ANUAL MATERIA PRIMA (Ton)	% ANUAL DE CARRAGENINA COMERCIALIZADA	TIPO DE CARRAGENINA	ORIGEN DE ALGA
Kappaphycus Alvarezii	80.000	60	KAPPA I	FILIPINAS INDONESIA
Eucheuma Denticulatum	20.000	15	IOTA	FILIPINAS INDONESIA
Gigartina Skottsbergii	15.000	20	KAPPA II LAMBDA	CHILE ESPAÑA
Sarcothalia Crispata y Chondracantus Chamissoi	5.000	5	KAPPA II LAMBDA	CHILE CANADA FRANCIA

Tabla 2.5 Producción Mundial Anual de Algas para Carrageninas.

2.6.4 Desarrollo y Evolución de las Algas Marinas

Es importante señalar que en la explotación de las algas, como en la de todos los recursos renovables, se debe estimar el potencial actual y futuro para así evitar el subaprovechamiento o la explotación irracional. Los estudios para cuantificar los mantos de algas son muy variados y van desde su observación a través del buceo, hasta su evaluación usando el procesamiento digital de imágenes multiespectrales, por medio de la fotografía aérea infrarroja, así como los estudios que aplican las imágenes de satélite.

También varios países trabajan para contar con información que les permita el cultivo de las algas; algunos, como los orientales y en especial Japón, tienen gran éxito en sus programas, y han llegado a producir algas tanto con fines industriales como alimentarios.

El futuro de las algas es alentador y algunos científicos, entre ellos Stanford, quien descubrió el ácido algínico en 1884, decía que: “los suministros mundiales de algas son

prácticamente inagotables”. Pero es indiscutible que su explotación indiscriminada, al afectar la capacidad de reproducción, es altamente riesgosa.

Por esta razón, la humanidad debe cuidar la explotación de las algas para conservar un nivel adecuado de vida y para mejorar el de los países que todavía no alcanzan su desarrollo. Es importante que todos utilicemos, de buena manera, estos recursos vegetales que los océanos nos ofrecen para recibir los beneficios sociales y económicos que se derivan del aprovechamiento de las algas.

Es de relevancia decir que la explotación de la materia prima de praderas naturales como de centros de cultivos se deben realizar en las temporadas adecuadas. El periodo reproductivo de las algas se da a fines de otoño y durante casi todo el invierno, es aquí donde éstas liberan la mayor cantidad de esporas (elementos de propagación, equivalentes a semillas). Por otro lado la etapa de crecimiento comienza en octubre hasta finales de marzo. Por lo tanto se puede rescatar de lo anterior que la época de cosecha se extiende desde la primavera al verano y que la época de recuperación es en las estaciones más frías del año.

Como medidas de protección de las algas marinas para carragenina, es de verdad importante decir que mientras más alta sea la extracción de cultivos mejor será el panorama a futuro de toda la industria involucrada a la producción de derivados de algas. Ahora en lo que respecta a la cosecha de las algas, se recomienda cortar la fronda (alga) dejando una parte de ella bien fijada en su sustrato (piedras, conchas, etc.). Nunca debe de sacarse o removerse el sustrato, donde puede haber plantas juveniles o discos de esporas. También es recomendado no cortar frondas inferiores a 20 cm. Se debe dejar un área de la pradera sin cosechar para que así las frondas reproductivas generen nuevas esporas para realizar de esta forma un nuevo ciclo de recuperación de éstas.

3 CAPITULO

ANÁLISIS DE MERCADO

TABLA DE CONTENIDOS

3.1.	INTRODUCCION ANÁLISIS DE MERCADO	30
3.2.	ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE CARRAGENINAS	30
3.3.	ANÁLISIS DE LA OFERTA DE CARRAGENINAS	35
3.4.	ANÁLISIS DE DEMANDA Y OFERTA DE CARRAGENINAS	41
3.5.	DEMANDA Y OFERTA DE CARRAGENINA KAPPA I	43
3.6.	ANÁLISIS DE MATERIA PRIMA PARA CARRAGENINA KAPPA I.....	44
3.7.	TENDENCIA, PRODUCCIÓN, PROYECCIONES DE LA CARRAGENINA KAPPA I	46

3.1. INTRODUCCION ANÁLISIS DE MERCADO

El siguiente capítulo establece el análisis del comportamiento de la carragenina en el mercado nacional e internacional a partir del año 1997 hasta el 2004, esto comprende la investigación de la demanda y oferta de éste producto. La información para el estudio se obtuvo de fuentes diversas, como son; Departamento de Informática del Servicio Nacional de Aduanas, Registros Aduaneros (Valparaíso y Puerto Montt), Instituto de fomento Pesquero (IFOP), Dirección General de Relaciones Económicas (Pro-Chile), Fondo Monetario Internacional (FMI) y Banco Central de Chile.

En Anexo A del presente documento se presentan las actualizaciones de los datos más relevantes de este capítulo, lo cual viene a ratificar el porcentaje de crecimiento esperado del proyecto y que se establece al final de este capítulo.

3.2. ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE CARRAGENINAS

3.2.1. Demanda Nacional

Las carrageninas son ampliamente utilizadas en distintos sectores industriales, en lo que corresponde al ámbito nacional éstas son usadas en la industria alimentaria principalmente, debido a sus propiedades funcionales son aplicadas para la totalidad de productos lácteos, geles en agua y para el sector de carnes del tipo procesadas.

La demanda nacional de carrageninas está afectada por dos componentes: Importación y Producción Nacional.

- **Importación:** Las importaciones durante el periodo analizado han sido fluctuantes, tal como se puede ver en la tabla siguiente. Las importaciones entre los años 1997 al 2004 superan las 1.500 toneladas.

IMPORTACIÓN	
Año	Toneladas
1997	134,25
1998	223,18
1999	88,03
2000	161,63
2001	141,58
2002	38,19
2003	265,96
2004	471,37

Tabla 3.1 Importación de Carrageninas.

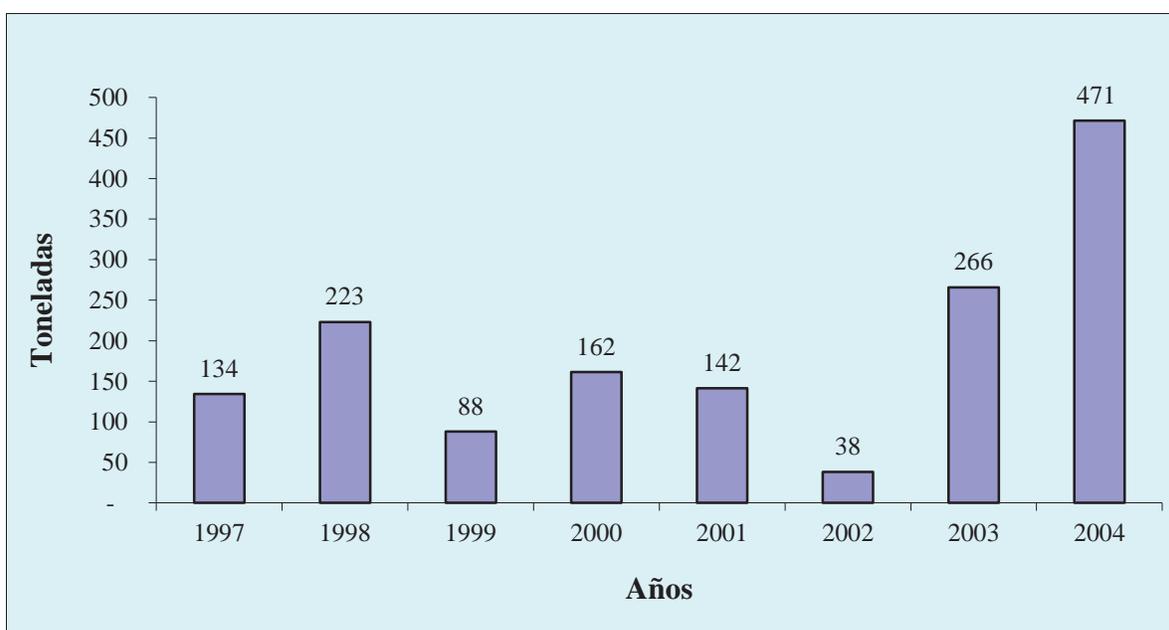


Figura 3.1 Importación de Carrageninas.

Gran parte de la totalidad de carrageninas importadas por nuestro país es adquirida como se verá en la tabla 3.2 por empresas productoras de carrageninas, las que utilizan estas importaciones como insumos para así generar nuevas mezclas de carrageninas con distintas propiedades.

En la tabla que sigue se da a conocer la cantidad de carragenina importada por las empresas nacionales durante los años 1997 al 2004. Ratificando lo expuesto en el párrafo anterior, ya que las primeras tres empresas de la tabla son productoras de carrageninas y ellas poseen sobre un 91% de las importaciones de este período.

EMPRESA	IMPORTACIÓN (TON)
Gelymar S.A.	907,58
Prinal S.A.	332,60
Danisco S.A.	157,61
Algina Químicos	40,00
Otros	86,40

Tabla 3.2 Importación de Carrageninas por Empresas.

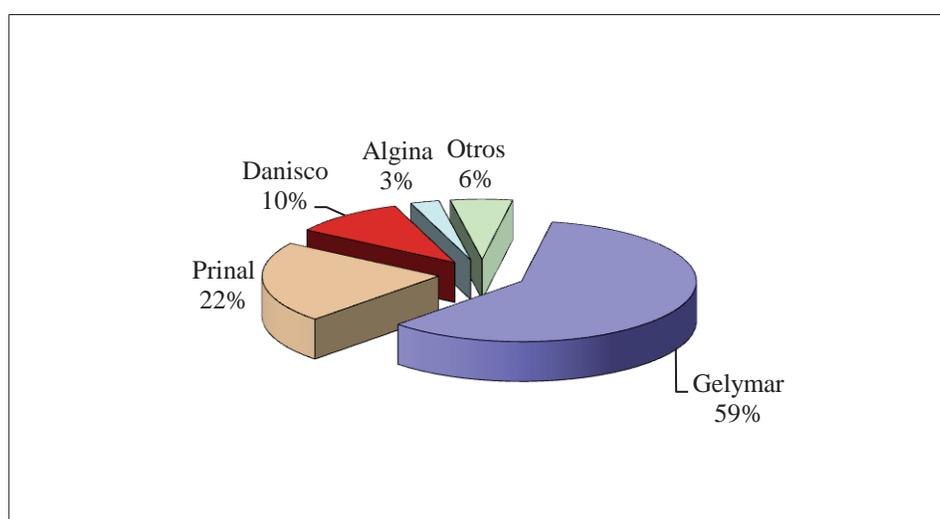


Figura 3.2 Empresas Importadoras de Carrageninas.

Los países de donde proceden las carrageninas importadas son más de 20, y los principales son Filipinas y Canadá, ambos aportan más del 63% del total de toneladas que ingresan a nuestro país. Las carrageninas importadas son exclusivamente del tipo Iota y Kappa I.

La carragenina Kappa I, que proviene de Filipinas abarca aproximadamente el 45% de las importaciones, otros países menores que son de Asia aportan con un 32% de las importaciones, básicamente son fracciones Iota o Kappa.

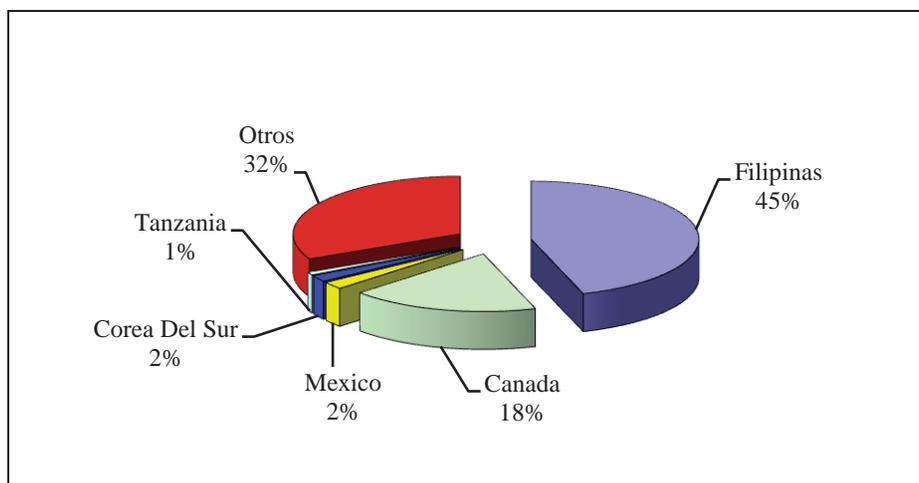


Figura 3.3 Origen de Carrageninas Importadas.

- Producción Nacional:** La participación que realiza la producción nacional en la demanda interna del país se ve reflejado en la cantidad que la empresa Gelymar S.A. comercializa en Chile, pues es esta compañía la que ostenta el total dominio del mercado nacional. A continuación se muestra el aporte de carragenina que Gelymar realizó entre los años 1997 y 2004.

MERCADO NACIONAL		
Año	Toneladas	% Variación
1997	148,23	-
1998	128,30	-13,44
1999	147,09	14,65
2000	328,00	122,99
2001	344,23	4,95
2002	471,50	36,97
2003	363,17	-22,98
2004	280,30	-22,82

Tabla 3.3 Aporte de Carragenina a la Demanda Interna por la Producción Nacional.

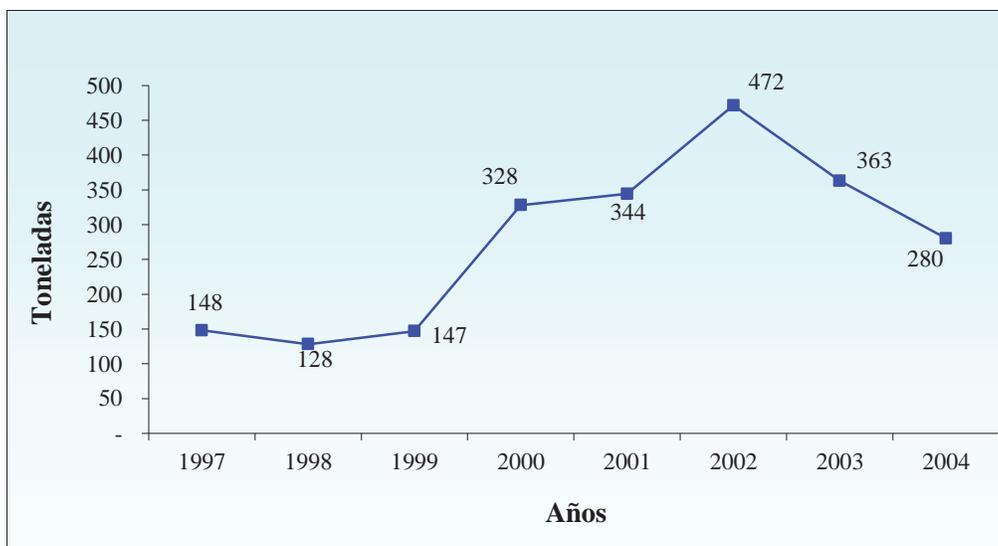


Figura 3.4 Producción Nacional de Carragenina para Demanda Interna.

Tal como se aprecia en el gráfico y tabla anterior, La cantidad total de carragenina que se comercializa en Chile es de 2.210 toneladas aproximadamente. El crecimiento del aporte de carragenina a la demanda interna por parte de la producción nacional ha sido positivo hasta el año 2002, año en el cual se produce una declinación que se mantuvo hasta el 2004. A pesar de este decrecimiento, el porcentaje de variación global desde el año 1997 hasta el 2004 ha presentado un generoso crecimiento.

A modo de conclusión se determina que la *Demanda Nacional Neta* está establecida, solo por la Producción Nacional y no por las Importaciones, ya que éstas son utilizadas como insumos por nuestras productoras de carrageninas como ya se explicó con anterioridad.

Por lo tanto la demanda nacional neta supera las 2.210 toneladas, entre los años 1997 al 2004.

3.2.2. Demanda Internacional

En países desarrollados y de tecnologías más avanzadas, las carrageninas son usadas en el sector de alimentos, pero de igual forma en las industrias farmacéutica, biotecnología y cuidado personal.

La demanda de carrageninas del sector extranjero, es imposible de determinar de forma exacta, por lo que solo se relacionará con la oferta mundial de éstas más adelante, dato que proporciona una idea del consumo total y distribución de carrageninas en el mercado global.

3.3. ANÁLISIS DE LA OFERTA DE CARRAGENINAS

3.3.1. Oferta Nacional

La oferta nacional consta de la Exportación de carrageninas y también de la Producción Nacional Destinada al Consumo Interno.

- **Exportación:** Las exportaciones de carrageninas en Chile han aumentado en promedio alrededor de 10% por año, dejando de manifiesto la potencialidad superior que posee el sector externo comparado con el nacional, en cuanto a la cantidad de toneladas transadas como también a la regularidad que muestra la tendencia en el periodo analizado.

EXPORTACIÓN		
Año	Toneladas	%Variación
1997	1.864,4	-
1998	2.385,3	27,94
1999	2.134,8	-10,50
2000	2.715,9	27,22
2001	2.644,8	-2,62
2002	3.204,6	21,16
2003	3.438,0	7,28
2004	3.585,9	4,30

Tabla 3.4 Exportación de Carrageninas.

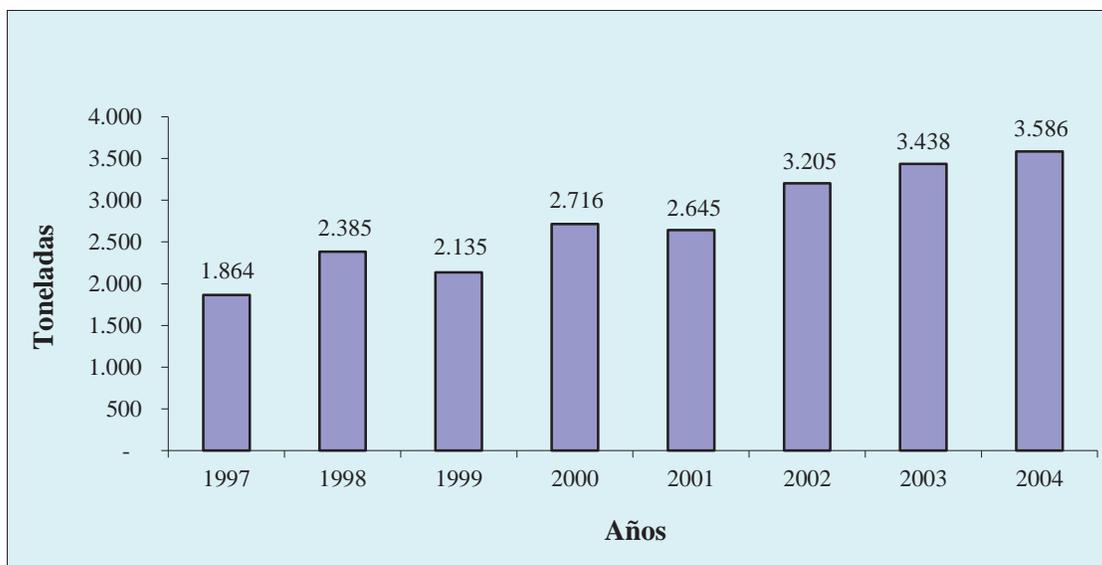


Figura 3.5 Exportación de Carrageninas.

Chile cuenta con productores de carrageninas de importancia a nivel mundial, los que compiten en el medio local e internacional, dentro de estas empresas las más conocidas e importantes son: Extractos Naturales Gelymar S.A. y Danisco Cultor S.A.

A continuación se muestra el resumen de exportación de carrageninas por empresas en el periodo que abarca los años 1997 hasta el 2004.

EMPRESAS	TONELADAS
Gelymar S.A.	10.464,95
Danisco S.A.	8.664,69
Neogel S.A.	704,00
Otros	2.140,05

Tabla 3.5 Exportación de Carragenina por Empresa.

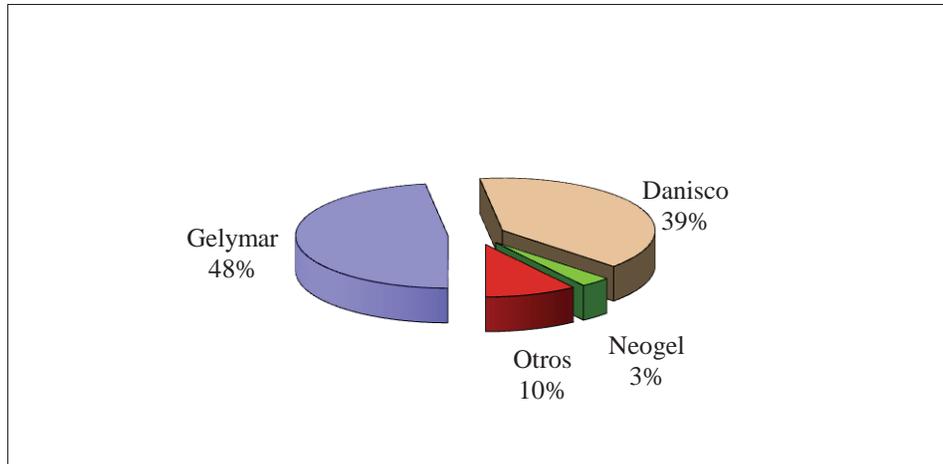


Figura 3.6 Empresas Exportadoras de Carrageninas.

Las carrageninas exportadas por las empresas antes mencionadas llegan a todos los lugares del mundo superando los 60 países, los que cada día están optando por comprar más de este aditivo en nuestro mercado. En la figura que viene se presenta a los países compradores más importantes, de acuerdo a la cantidad adquirida de carrageninas en Chile. Destacando potencias como Estados Unidos, Dinamarca, Brasil y Holanda, entre muchos otros.

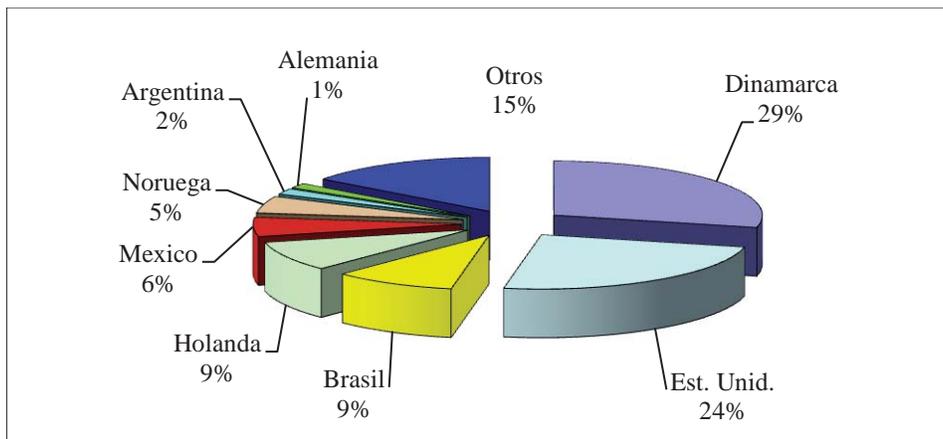


Figura 3.7 Destino de Carrageninas Exportadas.

Las exportaciones de carrageninas de Chile a todo el mundo durante el periodo analizado, es decir entre los años 1997 y 2004 alcanza aproximadamente las 22.000 toneladas, cifras de importancia a nivel mundial.

- **Producción Nacional Destinada al Consumo Interno:** Al igual que en la demanda nacional, la producción nacional también aporta a la oferta nacional, ya que el consumo interno tiene que ser satisfecho de alguna forma. Es por esta razón que la producción nacional satisface estas necesidades internas.

La oferta nacional para consumo interno entre los años 1997 al 2004, supera las 2.210 toneladas, tal como se aprecia en la tabla 3.6 que sigue.

MERCADO NACIONAL		
Año	Toneladas	% Variación
1997	148,23	-
1998	128,30	-13,44
1999	147,09	14,65
2000	328,00	122,99
2001	344,23	4,95
2002	471,50	36,97
2003	363,17	-22,98
2004	280,30	-22,82

Tabla 3.6 Aporte de Carragenina a la Demanda Interna por la Producción Nacional.

Rescatando todo lo descrito con anterioridad se concluye que la Oferta Neta Nacional durante el periodo que comprende desde el año 1997 hasta el 2004, proviene del complemento de las Exportaciones más el Consumo Nacional, esto arroja como resultado que el total ofertado por nuestro país es cercano a las 24.210 toneladas.

3.3.2. Oferta Mundial

En el presente la oferta de carrageninas en el mundo es de aproximadamente unas 45.000 a 50.000 toneladas anuales, lo que corresponde a un 10% del mercado global de la industria de hidrocoloides. Las carrageninas ocupan el tercer lugar en importancia, siendo superada solamente por la gelatina y el almidón. A continuación se muestra un conjunto de

hidrocoloides que participan en el competitivo mercado de las gomas y se da la contribución en forma porcentual de cada uno de ellos.

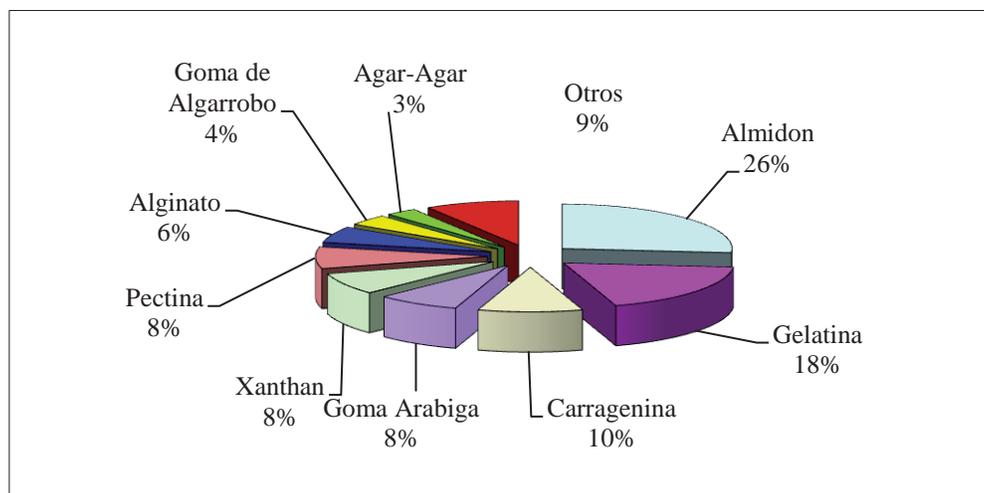


Figura 3.8 Hidrocoloides presentes en el Mercado.

Las principales empresas productoras que satisfacen la demanda del mercado mundial de carrageninas son de múltiples procedencias, como las que se indican a continuación:

- FMC BioPolymer: Estados Unidos.
- Shemberg: Filipinas.
- Hercules Corporated: Estados Unidos.
- Degussa (SKW): Alemania.
- CP Kelco: Dinamarca.
- Gelymar: Chile.
- Ceamsa: España.
- Rhodia Food: Francia.
- Danisco: Chile.
- Marcel: Filipinas.

El porcentaje de producción anual de carrageninas de cada empresa queda gráficamente expuesto de la forma que sigue:

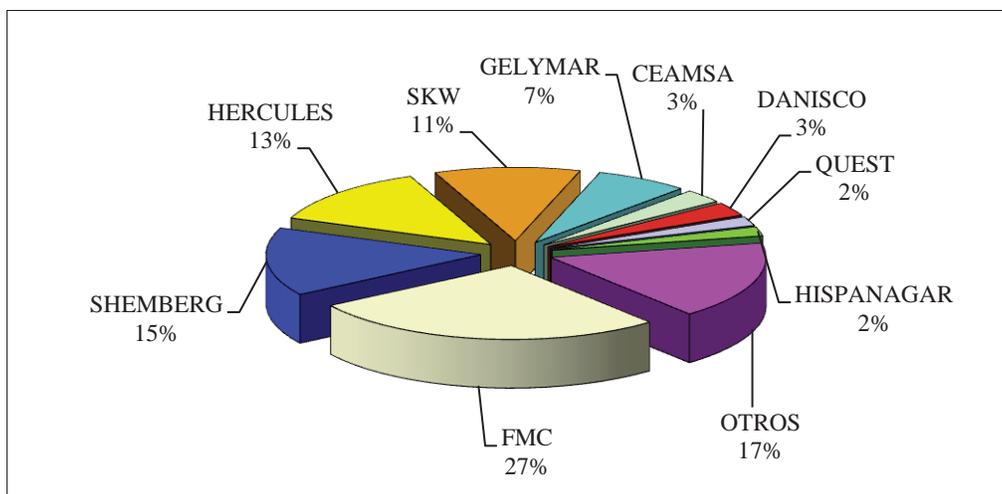


Figura 3.9 Porcentaje Anual de Producción Mundial de Carragenina por Empresa.

Según datos obtenidos de las empresas Shemberg y SKW. La producción mundial de carrageninas a evolucionado en esta última década de la forma como se aprecia en la tabla que sigue.

PRODUCCIÓN MUNDIAL DE CARRAGENINAS		
Año	Toneladas	% Variación
1995	22.000	-
1996	23.400	6,36
1997	25.550	9,19
1998	29.150	14,09
1999	32.150	10,29
2000	34.700	7,93
2001	38.900	12,10
2002	41.446	6,54
2003	47.750	15,21
2004	52.000	8,90

Tabla 3.7 Producción y Variación de Carrageninas Mundial.



Figura 3.10 Producción Mundial de Carrageninas.

La producción del año 2004 de carrageninas logro su máxima capacidad con 52.000 toneladas comercializadas en todo el mundo, a lo largo de esta última década la variación neta de producción alcanza un valor positivo, lo que implica que la variación promedio está alrededor de un crecimiento del 10,1% por año.

3.4. ANÁLISIS DE DEMANDA Y OFERTA DE CARRAGENINAS

Queda de manifiesto con los datos entregados en los puntos anteriores del presente capítulo que el camino a seguir en la producción de carrageninas se encuentra orientado en la exportación del producto, esto se fundamenta con todas las cifras positivas y superiores de exportación contra un consumo nacional pequeño, que muestra alternativas de crecimiento a futuro, pero está muy por debajo de las posibilidades reales que ostenta el campo internacional en el presente y para un futuro a corto y largo plazo.

Ahora se mostrarán gráficas que aclaran lo expresado en el párrafo anterior, estos gráficos plasman la gran diferencia competitiva que existe entre la exportación de carragenina v/s importación y también como se relaciona la exportación v/s el consumo nacional de carragenina, ambos análisis abarcan el periodo comprendido desde el año 1997 al 2004.

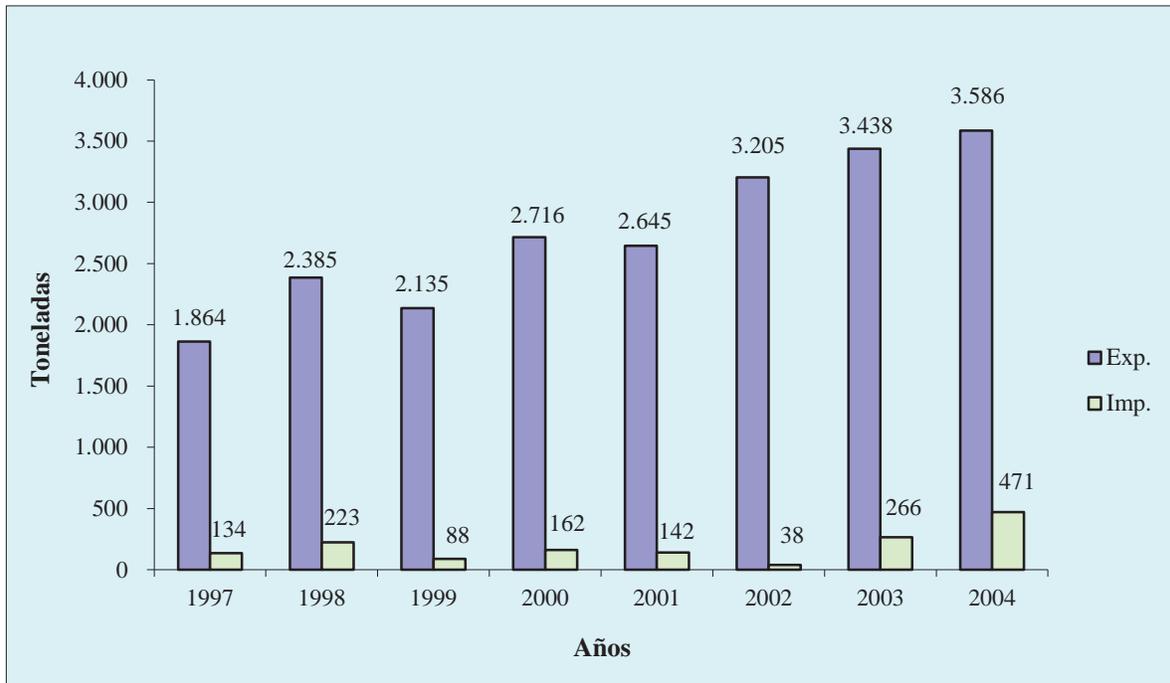


Figura 3.11 Carragenina: Exportación v/s Importación.

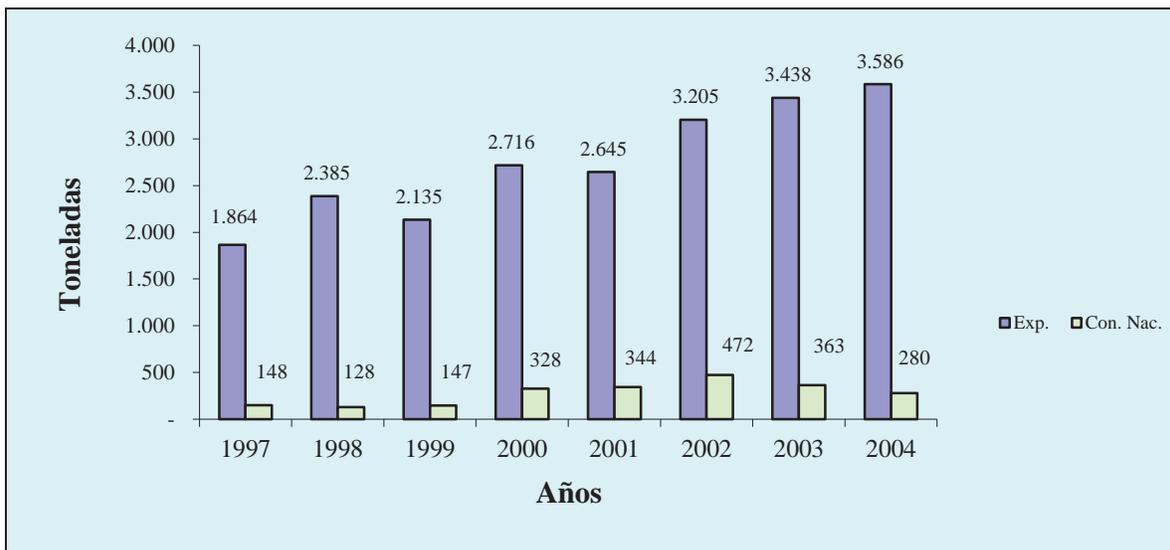


Figura 3.12 Carragenina: Exportación v/s Consumo Nacional.

3.5. DEMANDA Y OFERTA DE CARRAGENINA KAPPA I

3.5.1. Demanda de Carragenina Kappa I

La carragenina Kappa I es procedente de Indonesia y Filipinas en su conjunto, posee cerca del 65% del mercado mundial de carrageninas. Chile ha importado en el periodo que comprenden a los años 1997 hasta el 2004 aproximadamente 1.266 toneladas de esta carragenina, que corresponde a más del 80% de la carragenina total importada, para utilizarla como mezclas de producto final con carrageninas Lambda, Iota, Kappa II y aditivos.

IMPORTACIÓN DE CARRAGENINA KAPPA I	
Años	Toneladas
1997	107,40
1998	178,54
1999	70,42
2000	129,30
2001	113,26
2002	30,55
2003	212,77
2004	424,24

Tabla 3.8 Importación de Carragenina Kappa I.

3.5.2. Oferta de Carragenina Kappa I

La oferta mundial de carragenina Kappa I supera las 30.000 toneladas anuales, las que son producidas esencialmente por las empresas antes mencionadas. En nuestro país la oferta de esta carragenina desde el año 1997 al 2004 es de unas 7.300 toneladas, esta cantidad es producida solo por la empresa más importante de Chile (Gelymar S.A.).

En la siguiente tabla se aprecia la producción por año de carragenina Kappa I en nuestro país. Datos obtenidos de la empresa Gelymar S.A.

CARRAGENINA KAPPA I		
Año	Toneladas	%Variación
1997	451,65	-
1998	562,67	24,58
1999	447,13	-20,53
2000	1.024,95	129,23
2001	1.060,78	3,50
2002	1.238,78	16,78
2003	1.228,91	-0,80
2004	1.326,82	7,97

Tabla 3.9 Producción Nacional de Carragenina Kappa I.

Tal como se aprecia en la tabla, la variación global de producción nacional de carragenina Kappa I entre los años 1997 y 2004 se ha elevado y el porcentaje promedio de aumento anual supera el 20%.

La cantidad de carragenina Kappa I producida en Chile supera con creces el importe de ésta, sin embargo la carragenina importada a experimentado un crecimiento en los últimos años al igual que la carragenina producida en nuestro país, este fenómeno indica que la carragenina Kappa I está siendo requerida para usarla cada día mas tanto en nuestro país como en el extranjero.

Es necesario conocer e interpretar bien estos datos para entender lo importante del mercado de esta carragenina en específico, ya que el mercado nacional como internacional están expandiéndose, y la carragenina Kappa I es la que posee mayor desarrollo y perspectiva a futuro.

3.6. ANÁLISIS DE MATERIA PRIMA PARA CARRAGENINA KAPPA I

Los datos entregados con anterioridad están directamente relacionados con la materia prima utilizada para producir la carragenina Kappa I, la cantidad anual de algas marinas que se procesan a nivel mundial es de 120.000 toneladas aproximadamente,

correspondiendo 80.000 toneladas de éstas a el alga *Kappaphycus Alvarezii* (*Eucheuma Cottonii*), de la cual se deriva la carragenina Kappa I. La importación de estas algas en Chile en el periodo que comprende desde los años 1997 al 2004 se muestra en la tabla siguiente.

IMPORTACIÓN DE ALGAS		
Año	Toneladas	%Variación
1997	280,84	-
1998	562,28	100,2
1999	502,93	-10,6
2000	1.818,36	261,6
2001	2.796,72	53,8
2002	1.436,58	-48,6
2003	2.500,00	74,0
2004	3.000,00	20,0

Tabla 3.10 Importación de Algas para Carragenina Kappa I, (Kappaphycus Alvarezii).

En los últimos años las importaciones han experimentado un desarrollo notable, salvo el año 2002, que no es reflejo de la continuidad que se pronosticaba. El total de importaciones de algas es de 12.900 toneladas prácticamente, de las cuáles el 45% se adquirieron los dos últimos años, lo que hace pensar que en los años venideros habrá un aumento de la demandas de materias primas para carragenina Kappa I.

Ahora se muestra un grafico en el cual se aclara el desarrollo que ha mantenido la importación de algas para la producción de carragenina Kappa I.

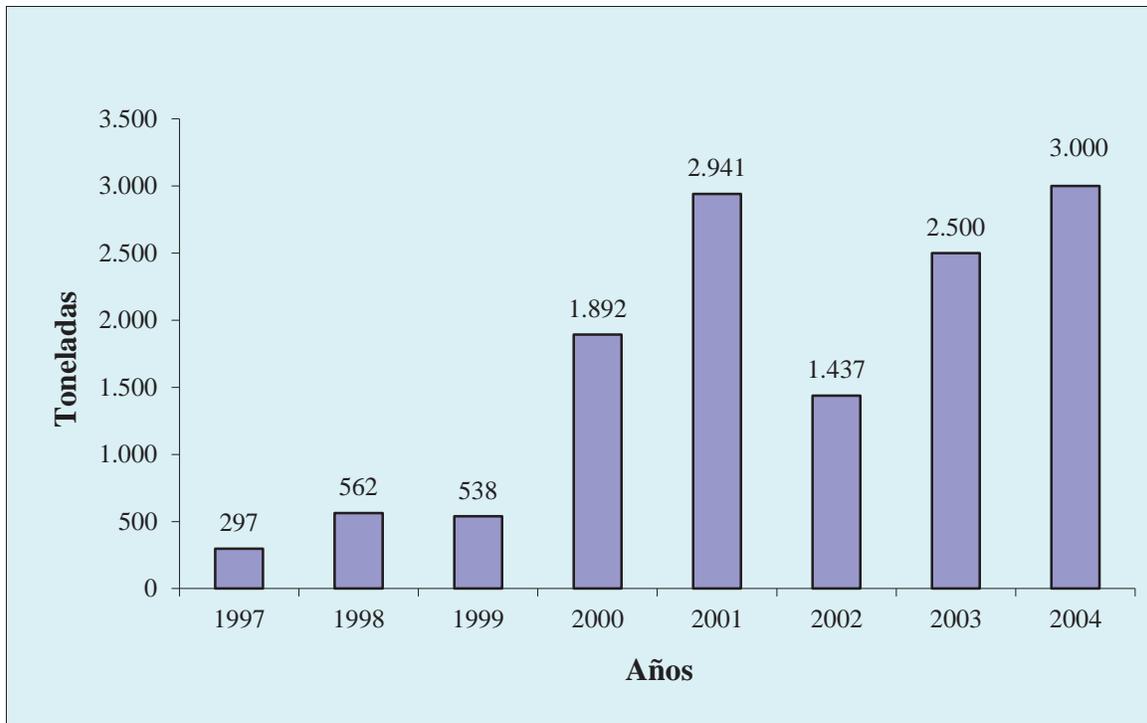


Figura 3.13 Importación de Algas para Carragenina Kappa I.

3.7. TENDENCIAS, PRODUCCIÓN Y PROYECCIONES DE LA CARRAGENINA KAPPA I

3.7.1. Tendencias del Mercado

En los últimos 15 años el crecimiento del mercado nacional e internacional de consumo de carrageninas ha sido positivo. Esto se debe, al crecimiento de la población mundial, a las mejoras y aberturas de algunas economías, como la apertura de China y de los países de Europa del Este, donde estos últimos tradicionalmente no consumían carragenina y actualmente sí lo hacen. De igual forma, se debe al desarrollo de nuevas aplicaciones, donde hubo un incremento importante por el uso en productos cárnicos y de dieta. Esos dos hechos, sumados al crecimiento natural del mercado, contribuyen a que estos valores resulten siempre positivos. En el campo de los alimentos, las nuevas aplicaciones se pueden dividir en dos grupos. Una es la innovación aplicada en esta área, donde se está comenzando a utilizar carragenina en inyección de pescados y mariscos, marinado de carnes frescas y todo lo que es clarificación de mostos, como jugos, vinos y

cervezas. La otra aplicación es como agente cobertor de frutas. Sin embargo, existe un elemento aún más innovador, la inclusión de carragenina en el campo biomédico. Hay varios estudios que demuestran sus actividades anticoagulantes, antiolesterolémicas y como barrera de algunos virus, entre otras. Entonces, se visualiza para los próximos 20 años una apertura hacia una utilización biomédica, y también para aplicaciones como nutracéuticos (alimentos que protegen la salud).

3.7.2. Capacidad de Planta

En conocimiento de el gran desarrollo y evolución que ha experimentado la producción nacional de carragenina Kappa I en los últimos cuatro años creciendo a un rango del 7% anual aproximadamente, tal como se expuso en la tabla 3.9 y considerando también la importación de alga marina para producir carragenina Kappa I, la que posee una tasa de crecimiento anual que supera el 20%, con esto se garantiza que la producción de carragenina Kappa I tiene un prometedor futuro, más aún si a estos datos anteriores le sumamos el desarrollo de la producción mundial que tuvo la carragenina en la década pasada, la cual logró superar el 10% de crecimiento anual. Del mismo modo se debe tener en cuenta el aporte de las aperturas de nuevos mercados, el crecimiento propio de la población mundial y los nuevos usos que se espera adquieran las carrageninas.

Con todos los antecedentes, datos obtenidos y entregados con anterioridad se decide que la planta tendrá una capacidad anual de un 3-3,5% de la producción mundial de carragenina del tipo Kappa I, la que es de 30.000 toneladas/año, esto implica que la **Capacidad de la Planta** será de **1.000 toneladas/año**.

Con esta capacidad de planta se alcanzara a cubrir parte de la demanda internacional, que es la de mayor importancia debido a la diferencia entre volúmenes transados y también se competirá en un futuro por lograr entrar en el mercado nacional.

3.7.3. Desarrollo de la Producción

La estimación del crecimiento de productividad anual será resultado de un estudio del comportamiento de los mercados a los que se pretende llegar con el producto, es decir, Estados Unidos, Unión Europea y los países más importantes de Asia. También se considerará el crecimiento anual de nuestro país, por esto se conocerá la variación real del Producto Interno Bruto (PIB), en conjunto con el crecimiento de las empresas productoras más importantes de carrageninas. Estas empresas han elevado su producción en un 7% por año, por otro lado la variación real del PIB de Chile en los últimos 15 años ha sido de un 5,6% en promedio, tal como se indica en la tabla 3.11.

PRODUCTO INTERNO BRUTO	
Año	Var. Real PIB%
2004	6,00
2003	3,70
2002	2,20
2001	3,40
2000	4,50
1999	-0,80
1998	3,20
1997	6,60
1996	7,40
1995	10,60
1994	5,70
1993	7,00
1992	12,30
1991	8,00
1990	3,70

Tabla 3.11 Variación Real Anual del PIB.

Por otro lado se sabe por medio del Banco Mundial y Banco Asiático de Desarrollo que la variación del PIB entre los años 1999 al 2004 fluctúa alrededor del 5,7%, 5,85% y 6,03% para países de Asia, Estados Unidos y la Unión Europea respectivamente. Estos promedios serían más abultados si se obviarán los valores escasos de los años 2001 y 2002,

a causa de las diferentes crisis económicas que debieron sobrellevar gran parte de los países más poderosos del mundo.

En consecuencia a lo anterior el desarrollo de la producción de la planta de carragenina Kappa I queda determinado por los datos obtenidos, esto es un crecimiento entre una tasa del 5,5 al 7,0% anual, sin embargo la proyección se hará de forma más previsor, resguardando cualquier eventualidad a futuro, es por esto que el crecimiento de producción anual de la planta quedará fijado en no más del 5%.

El análisis se desarrolla hasta los 10 primeros años de funcionamiento de la planta, lo que implica que la producción de carragenina Kappa I al fin de este periodo será de 1.551,33 Toneladas/Año, tal como se puede apreciar en la siguiente tabla y grafico.

PRODUCCIÓN	
Años	Toneladas
1	1.000,00
2	1.050,00
3	1.102,50
4	1.157,63
5	1.215,51
6	1.276,28
7	1.340,10
8	1.407,10
9	1.477,46
10	1.551,33

Tabla 3.12 Producción de Carragenina Kappa I, con Crecimiento Anual del 5%.

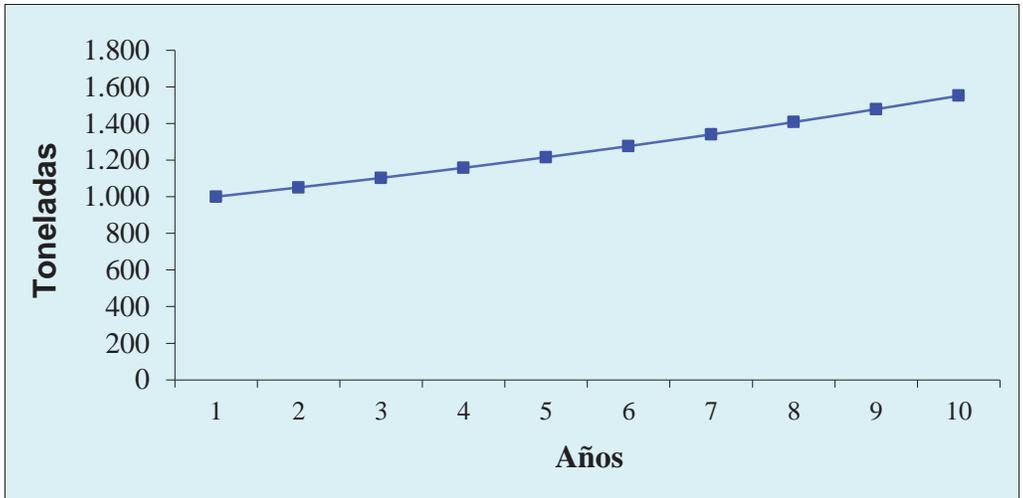


Figura 3.14 Desarrollo de la Producción de Carragenina Kappa I, con Crecimiento Anual del 5%.

4 CAPÍTULO

SELECCIÓN DEL PROCESOS DE PRODUCCIÓN

TABLA DE CONTENIDOS

4.1	MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE CARRAGENINA	52
4.2	CARACTERÍSTICAS DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN	56
4.3	ELECCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO	59
4.4	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRECIPITACIÓN GEL-PRESS	60

4.1 MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE CARRAGENINA

Existen dos métodos diferentes para producir carrageninas, basados en principios diferentes.

El método original y único usado hasta muy entrado los años 70' y comienzo de los 80', consta básicamente de la extracción de la carragenina a partir de una solución acuosa de alga marina, el residuo del alga marina se separa por filtración y entonces la carragenina se recupera de la solución, luego de diversos procesos la solución se transforma en un sólido seco en polvo. Estos tipos de procesos suministran como resultado Carrageninas Refinadas (RC).

En el segundo método, la carragenina no se extrae directamente del alga marina, el proceso comienza con un lavado alcalino del alga marina, con lo cual se disolverá todo excepto la carragenina y otro material insoluble. Este residuo insoluble es principalmente carragenina y celulosa, luego este residuo se seca y se vende como Carragenina Semirefinada (SRC).

4.1.1. Carrageninas Refinadas (RC)

Los procesos para producir RC, comienzan de formas muy similares, el primer paso corresponde al lavado del alga marina para quitar arena, sales y otras materias residuales. Luego el alga lavada se mezcla con una solución alcalina a alta temperatura durante varias horas. El álcali se usa para generar el cambio químico que entrega como resultado el producto final, quita algunos de los grupos sulfatos de las moléculas y promueve la formación de 3,6AG, el aumento de este último compuesto proporciona mayor fuerza gel a la carragenina. La solución resultante pasa por un filtro de presión que usa tierras filtrantes. En esta fase, la solución contiene un 1% de carragenina y ésta se concentra aproximadamente hasta un 3 a 4%. Luego de la concentración la solución es precipitada con alcohol o con una sal, el precipitado se prensa para enseguida pasarlo a una etapa de secado y posterior molienda.

Existen dos procesos comerciales para obtener las RC, éstos son: *Alcohol Press* y *Gel Press*. A continuación se mostrará un diagrama de bloques donde se aprecia cada etapa de los procesos, diferenciando solo en la sección de precipitación al proceso de Gel Press y Alcohol Press.

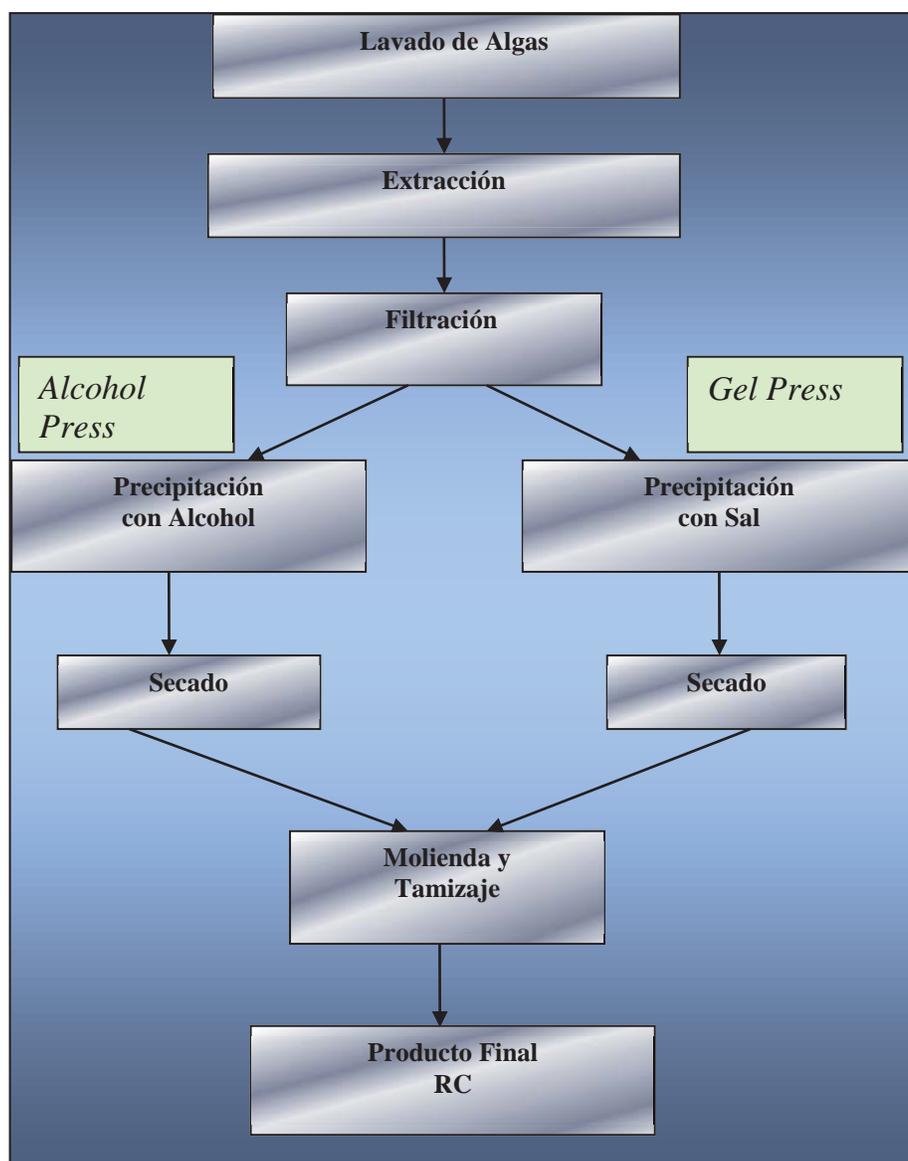


Figura 4.1 Diagrama de Bloques: Gel Press y Alcohol Press.

4.1.2. Carrageninas Semirrefinadas (SRC)

En este método la carragenina nunca se extrae realmente del alga marina. En la producción de SRC, el alga contenida en un estanque es mezclado con una solución alcalina durante aproximadamente dos horas, para causar la modificación química del alga tal como se explicó en el caso de las RC. Luego de esto, el residuo que todavía se parece a el alga marina se lava varias veces para quitar el álcali. El alga marina tratada con álcali se pone a secar, en los climas calientes, como en Filipinas e Indonesia, normalmente esto se hace al aire libre en grandes superficies de concreto. Después de aproximadamente dos días se procede a disminuir el tamaño de partícula por medio de cortes simples y este producto es alimentado a un molino, para obtener un polvo que se vende como carragenina semirrefinada.

A veces el producto seco no se muele y simplemente se corta en pedazos, y se vende como un material crudo o como materia prima para los procesadores de RC. A lo anterior se le conoce como Cottonii Tratado con Álcali (ATC) o Cottonii Cortado y Tratado con Álcali (ATCC).

Los procesos anteriores de SRC han sido modificados hoy en día por productores filipinos para que estas carrageninas tengan alguna opción de competencia frente a las RC. El proceso continúa igual hasta el tratamiento alcalino y lavado con agua, después el producto se corta y trata con un blanqueador que generalmente es cloro comercial para quitar el color amarillento característico que presentan las SRC. Luego de lavar nuevamente para quitar cualquier resto del blanqueador, el producto es secado y molido. Si la cuenta bacteriana es muy elevada el producto se lava con alcohol seguido de una evaporación a vacío, o simplemente se trata con vapor sobrecalentado. Al proceso anterior se le denomina Calidad Natural Filipina (PNG) o Alga Marina Eucheuma Procesada (PES).

Los procesos de carrageninas semirrefinadas anteriormente explicados se resumen en la siguiente Figura 4.2 con sus respectivos diagramas de bloques.

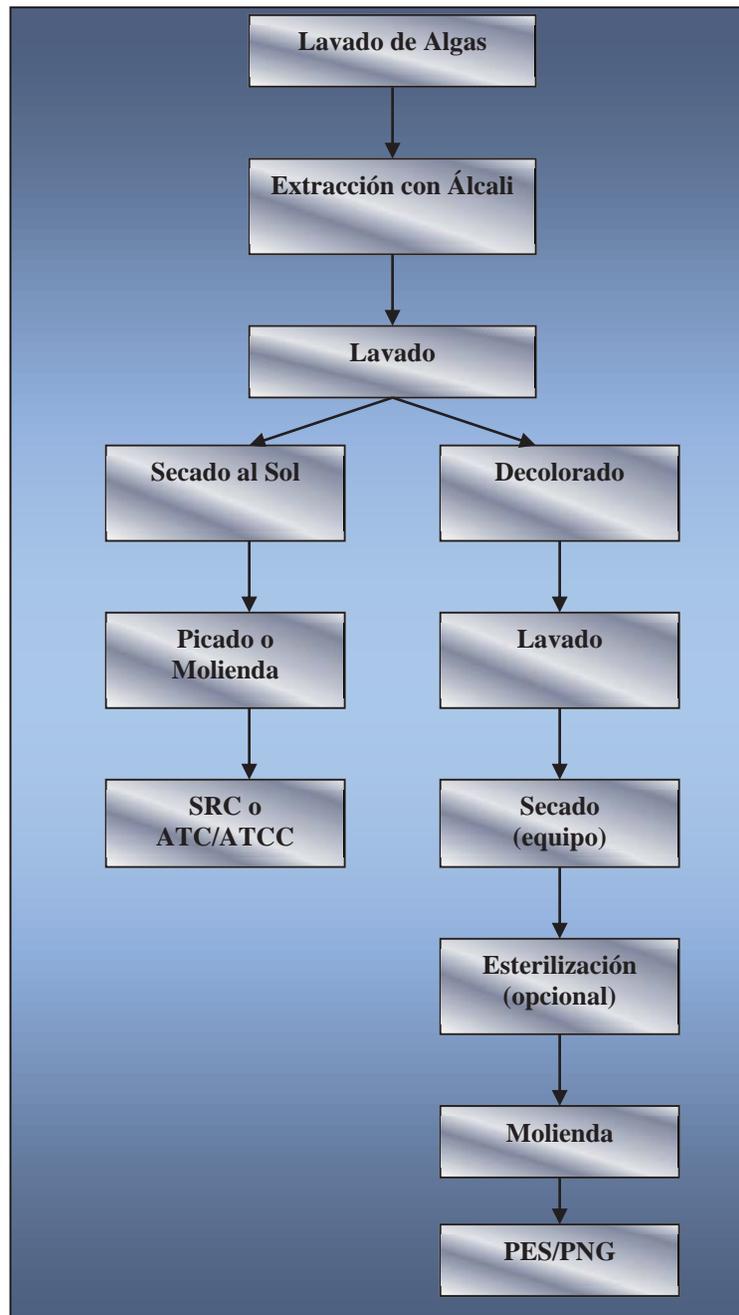


Figura 4.2 Diagrama de Bloques: ATC/ATCC y PES/PNG.

Las soluciones de SRC y RC se diferencian en cuanto a su apariencia de forma tal como se muestra en la figura 4.3, en donde la primera muestra corresponde a una solución que no se ha filtrado, es decir una SRC, la que contiene gran cantidad de celulosa, la

segunda muestra pertenece a una solución de RC la que a simple vista muestra un aspecto más claro y libre de celulosa.

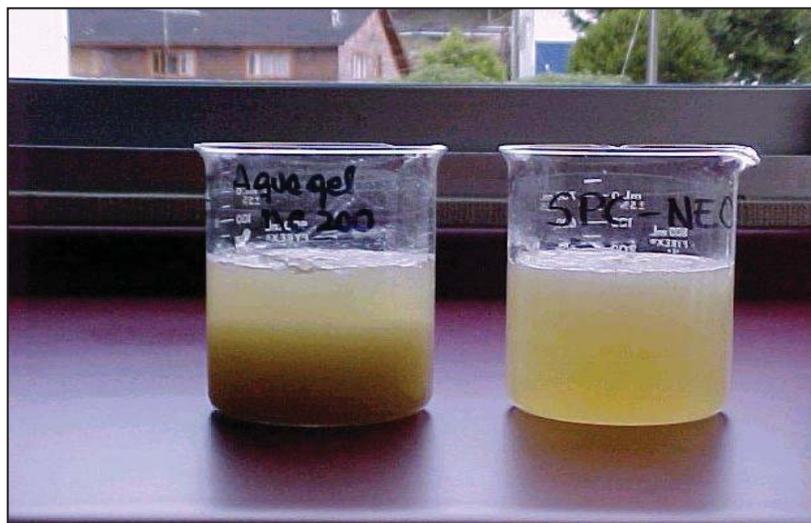


Figura 4.3 Soluciones: SRC y RC.

4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN

4.2.1. Proceso Gel-Press

Esta tecnología proviene de la forma en que se procesa otro hidrocoloide, el agar-agar, es esencialmente un proceso idéntico con pequeñas variaciones. Del proceso Gel-Press se obtienen RC del tipo Kappa I, y es por ello que este proceso sólo emplea como materia prima en su elaboración de carrageninas algas *Eucheuma Cottonii*. Hoy en día a nivel mundial es el proceso más usado por los productores, produce el tipo de carragenina más requerida por el mercado, superando el 60%.

En lo que respecta al costo de implementación de una planta todos los procesos son equivalentes, pero éste necesita menos equipos anexos que sus similares, también utiliza una sal como reactivo para precipitar la carragenina lo cual implica que el costo de producción es menor en relación a la otra tecnología de producción de RC (alcohol-press).

En lo que concierne al marco de regulaciones, estas carrageninas están aprobadas en todos los mercados para ser consumidas como aditivos de alimentos, y usadas sin problemas en los otros sectores industriales, como por ejemplo en Estados Unidos son aprobadas por la Administración de Drogas y Comidas (FDA), y en la Unión Europea las RC son certificadas y etiquetadas como aditivos E-407.

4.2.2. Proceso de Alcohol-Press

El proceso tradicional para la producción de carragenina es el proceso de precipitación de Alcohol-Press. Tiene la ventaja mayor de poder ocupar cualquier tipo de fuente del alga marina y a raíz de esto posee la facultad de producir todas las carrageninas comerciales existentes, es el único proceso que produce carragenina Lambda, y por ende solamente ocupa como materia prima para este tipo de carragenina algas sudamericanas (*Gigartina Skottbergii*). El gran inconveniente de este tipo de proceso es el costo extra, ya que debido al uso de alcohol tiene que involucrar la instalación de equipos ininflamables y además debe invertir en un sistema de elementos agregados al proceso necesario para la destilación de alcohol, del que se requiere grandes volúmenes para realizar el proceso productivo. En lo relativo al marco regulatorio que debe enfrentar es equivalente al ya descrito para el proceso de Gel-Press.

4.2.3. Procesos de SRC

Estos procesos tienen el objetivo de lograr una producción de carragenina mas económica, desarrollan y producen carrageninas que gelifican, Iota y Kappa I, utilizando para esto algas *Eucheuma Cottonii* y *Eucheuma Spinosum*. Las carrageninas producidas por procesos de semirefinación estaban en un comienzo dirigidas a la industria de alimentos de mascotas, no obstante en estos últimos años las SRC (PES/PNG) han entrado en parte de las industrias de carne y de la lechería, en dónde la claridad del producto obtenido no es un requisito. La ventaja principal de estos procesos es el costo bajo de producción ya que se evitan la etapa de filtración y precipitación. El problema que presentan estas carrageninas es la inutilidad en usos donde se requiere claridad de los productos finales como geles de

aguas y también son muy pocos usados por industrias del ámbito farmacológico y biotecnológico. Otra dificultad de relevancia es que estos productos aún no son considerados como carrageninas aptas para consumo humano en algunos mercados, en Estados Unidos recién ahora se aprobó su comercialización como aditivo, pero no se etiqueta como carragenina, si no como carragenina PES, refiriéndose al proceso de semirefinación, por otro lado la Unión Europea etiqueta estas carrageninas como E-407a, que indica el grado de semirefinación.

La distribución mundial de carrageninas según la tecnología de extracción se verá representada en las figuras siguientes, los datos fueron obtenidos de Serna-Pesca y del Instituto Fomento Pesquero (IFOP), para el año 2002.

Tecnología de Extracción	Toneladas	%Participación
Semirefinada	5.000	12,20
Alcohol-Press	17.000	41,46
Gel-Press	19.000	46,34
Total	41.000	100,00

Tabla 4.1 Carrageninas por Tecnologías de Extracción (2002).

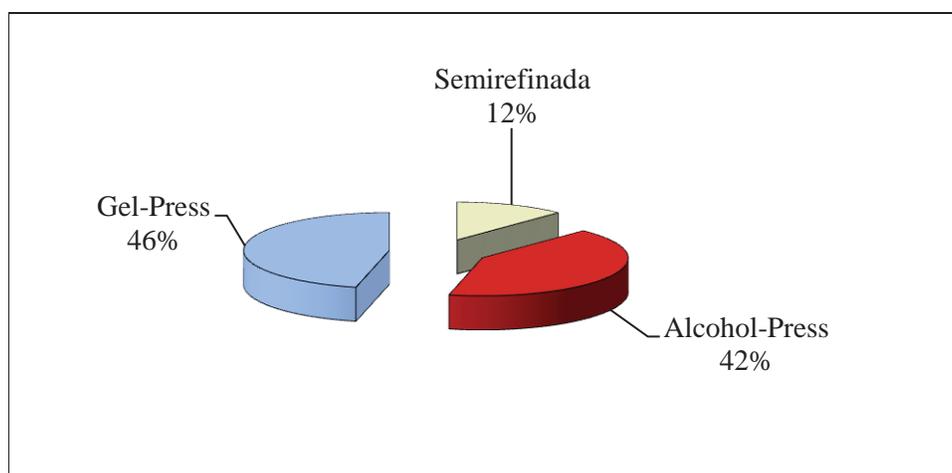


Figura 4.4 Distribución Mundial de Carragenina por Tecnologías de Extracción (2002).

4.3 ELECCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

Para lograr establecer que sistema productivo es el ideal para la elaboración de carragenina Kappa I, se procederá a realizar un paralelo entre los distintos métodos de producción. Tomando en consideración todo lo descrito y explicado en los capítulos preliminares.

- **Comparación de los Procesos**

- *Calidad de Carrageninas:* La calidad de las carrageninas está estrechamente relacionada con la función que debe cumplir en los productos donde se aplicará, es afectada por la apariencia que le entregará a los productos, por lo tanto mientras más refinada sea la carragenina mejor será su calidad integral.
- *Potencialidad del Mercado:* El mercado como ya se ha dicho con anterioridad es dominado por las carrageninas tipo Kappa I, superando el 60% del mercado mundial, lo que implica que la producción está liderada por procesos que tratan algas *Eucheuma Cottonii*.
- *Disponibilidad de Materias Primas:* La adquisición de algas depende de la carragenina que se desee elaborar, por ejemplo para producir Kappa I, Iota y Kappa II el alga debe importarse, los precios de estas algas en su lugar de procedencia son un poco menores que el de las algas Chilenas de las que se obtiene carragenina Lambda, no obstante el costo del importe hace que el kilogramo final del alga importada sea mayor. La disponibilidad de todas las especies de algas para carrageninas es prácticamente ilimitada tomando en cuenta el desarrollo que han tenido los cultivos en todos los lugares donde se explota este producto marítimo.
- *Implementación de la Planta y Producción:* La construcción de una planta desde el punto de vista costo, es similar para un proceso de Gel-Press y SRC,

no así para el proceso de Alcohol el que necesita una mayor inversión para efectos de destilación. En cuanto a la elaboración de la carragenina es mas barato generar SRC que RC, pero entre Gel-Press y Alcohol, es mucho más rentable optar por producir carragenina por el primer proceso.

Debido a su calidad de SRC, éstas poseen menor número de productos donde aplicarse, su precio comercial no supera el 50% de lo que alcanzan las RC, no son consideradas en todos los países como aptas para ser consumidas por humanos y las investigaciones de nuevas aplicaciones, nuevas tecnologías de producción que se están ideando son dirigidas hacia carrageninas aceptadas por todos los mercados sin ningún tipo de restricción, es decir en dirección de RC. Luego las opciones se acotan sólo a los procesos de Gel y Alcohol Press, ambas tecnologías son aplicables indistintamente en relación a la capacidad de elaborar carragenina Kappa I, logran eficiencias similares y obtienen carrageninas de gran pureza y con alto valor agregado. El factor relevante entonces que fija la base de la decisión final de que proceso será el elegido es el capital, o sea, el costo de constituir la planta y producir la carragenina Kappa I, este es el punto en que el proceso de Alcohol se debilita en comparación con el de Gel, éste último es la tecnología más económica de realizar.

En consecuencia con lo antepuesto se define que el proceso productivo para elaborar la carragenina en el desarrollo de este proyecto, es el método conocido como: ***PROCESO DE PRECIPITACIÓN “GEL-PRESS”***.

4.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRECIPITACIÓN GEL-PRESS

Tal como se ha expuesto en el capítulo anterior el proceso elegido para la producción de carragenina del tipo Kappa I es, Precipitación Gel-Press, el cual se detalla a continuación.

4.4.1 Descripción por Etapas del Proceso

- **Recepción de la Materia Prima:** La materia prima llega a la empresa en camiones, contenidas en maxisacos (capacidad de 1,200 Kg aprox.), el alga utilizada es *Eucheuma Cottonii* natural (FS-Cottonii) y *Eucheuma Cottonii* procesada (FS-SK).
- **Extracción de Carragenina:** En la extracción se realiza una mezcla entre las algas FS-Cottonii y FS-SK, para obtener un mejor rendimiento de proceso, en esta fase se produce la modificación química del alga, ésta consiste en quitar algunos de los grupos sulfatos de las moléculas y originar la formación de 3,6AG, el aumento de este último compuesto proporciona mayor fuerza gel a la carragenina final, la modificación es inducida por la reacción entre una base, Hidróxido de Sodio (NaOH) y el alga. En esta etapa además se añaden tierras filtrantes, las que se distribuyen homogéneamente en la solución y que serán requeridas en la etapa de filtración primaria. La disolución de la mezcla se logra luego de un periodo de agitación (2 horas), manteniendo un rango de temperatura constante (85-95°C) y alcanzando un volumen de solución para que la viscosidad de la mezcla se encuentre en un rango determinado (60-200 cP). La extracción de carragenina es un proceso Batch.

En la figura 5.6 se muestra como el NaOH efectúa la fisura de los grupos 6-sulfato de una molécula precursora de la carragenina Kappa I, llamada μ , para generar 3,6-anhidro-D-galactosa (3,6 AG) en la cadena del polisacárido.

La reacción que se postula para la etapa de extracción se define de la forma que sigue:



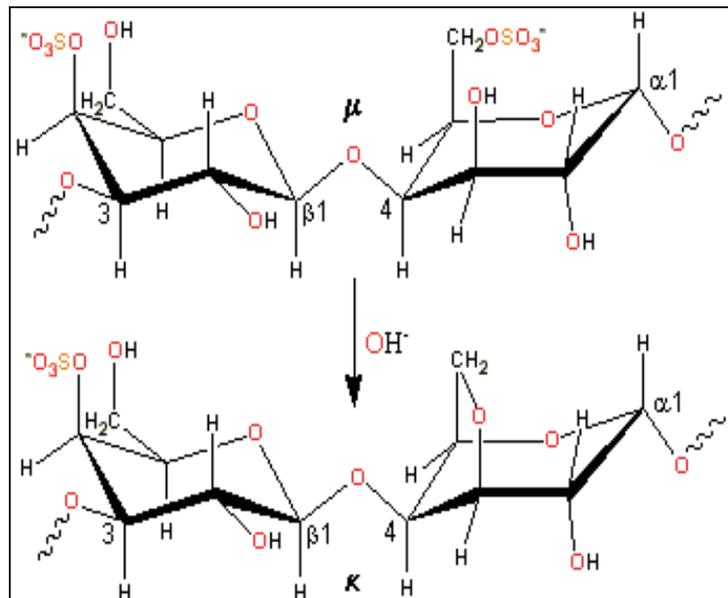


Figura 4.5 Modificación Química del Alga Marina.

- **Filtración Primaria:** Se realiza a continuación de la extracción y tiene por objetivos concentrar la solución de un 1% de carragenina hasta un rango entre un 2 a 4%, también elimina de la solución el material insoluble presente en el extracto como es la celulosa y los restos sólidos presentes en la materia prima (Torta). La filtración se hace cuando la mezcla aun está caliente para evitar que la solución gelifique y obstruya las tuberías del proceso, el producto ya filtrado conserva una temperatura de unos 80°C.
- **Enfriado:** La solución luego de ser filtrada es acumulada en unos estanques que sirven para bajar la temperatura y proporcionar una alimentación continuó al sistema, luego se enfría para lograr que la precipitación de la carragenina sea eficiente, la mezcla reduce su temperatura hasta los 40°C, consiguiendo que ésta no gelifique y al mismo tiempo garantiza que la precipitación sea óptima.

- **Precipitación:** La precipitación de la carragenina se obtiene mezclando la solución enfriada con una sal, Cloruro de Potasio (KCl, 15% en peso), el cual sirve como medio para la formación del precipitado.
- **Tamizador Húmedo:** Este equipo se encarga de finalizar el proceso anterior, suministrando mayor tiempo de maduración a la mezcla para así mejorar la eficiencia del precipitado. El tamizado húmedo además cumple con eliminar parte del agua en exceso y KCl agotado.
- **Filtración Secundaria:** Se filtra el precipitado por medio de prensado, para liberarlo del agua y KCl agotado (2,5-1,5%).
- **Repulpado:** Al producto previamente prensado se le adiciona nuevamente una solución de KCl, esta vez agotado (2% en peso), para precipitar cualquier residuo de carragenina que haya quedado en solución sin precipitar, además se dosifica a esta mezcla, cierta cantidad de cloro comercial (NaOCl) con el objeto de blanquear y descontaminar la carragenina Kappa I que se va a producir.
- **Filtración Final:** Se realiza la filtración final con un prensado, su función única es eliminar el máximo de agua, todo el cloro y KCl agotado que haya disuelto en agua, para luego proceder a secar la carragenina.
- **Secado:** Luego de la filtración final la carragenina se dispone a secar, por medio de contacto directo con aire caliente, la temperatura de operación varía en un rango de 90-105°C, el tiempo de residencia de la carragenina no supera los 60 minutos. Con estos parámetros de secado la humedad final del producto permanece entre 4-12%, cumpliendo con los márgenes exigidos que establecen como máxima humedad de las carrageninas un 12%.

- ***Molienda y Tamizaje:*** La carragenina secada es molida para luego ser tamizada y obtener tamaños de partículas apropiados a las necesidades y exigencias del mercado (#100 y #200).
- ***Embalaje:*** La carragenina previamente tamizada es depositada en bolsas plásticas dentro de recipientes para aislarlas del ambiente y con esto evitar su posible contaminación. Con esto ya realizado la carragenina se estandariza, es decir se mezcla con sal o azúcar y otras carrageninas dependiendo de su uso final y así el producto está listo para su futura distribución en el mercado.

A continuación se presenta un diagrama de flujo básico de obtención de carragenina Kappa I por medio de la tecnología Gel-Press.

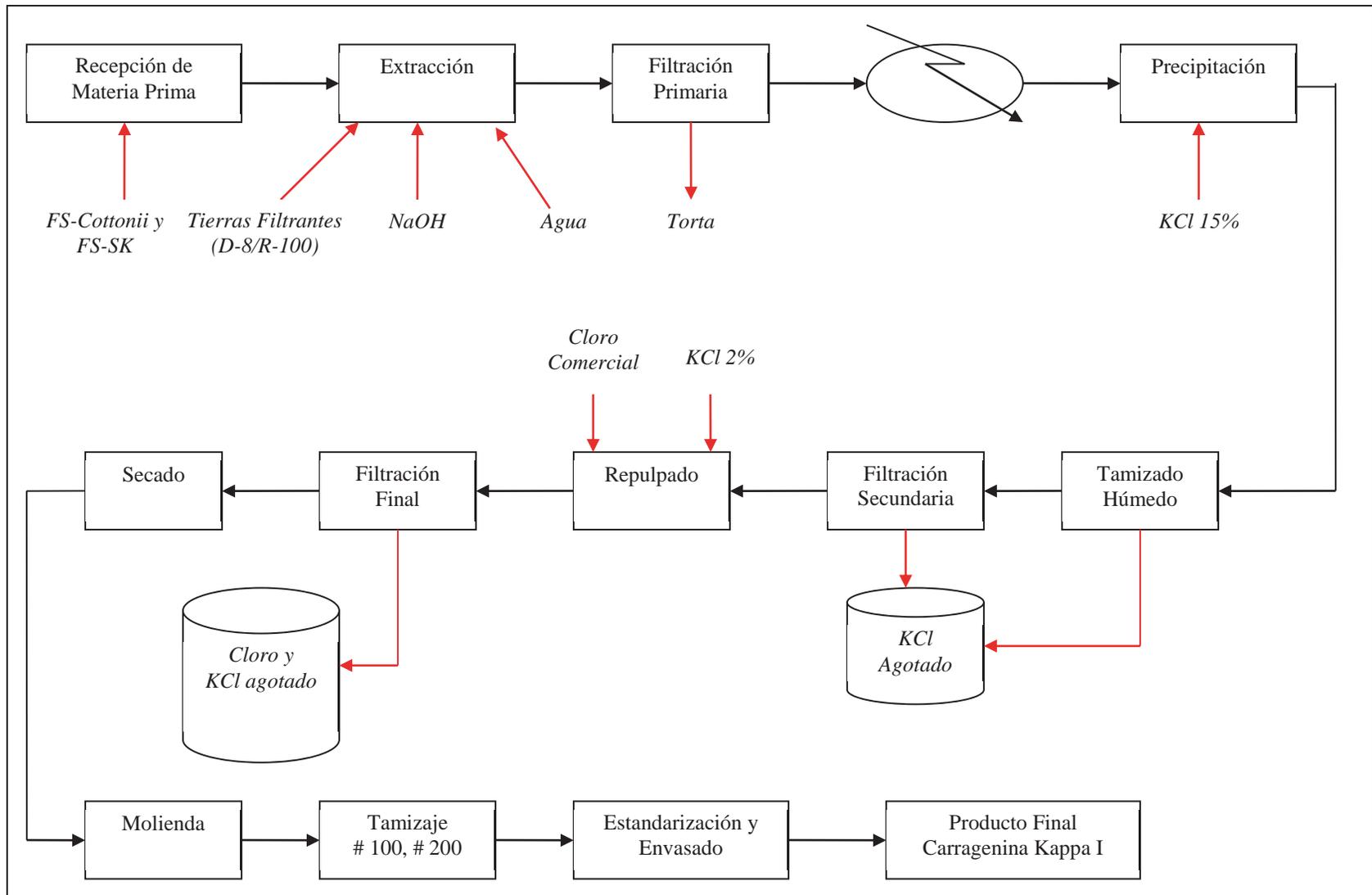


Figura 4.6 Diagrama de Flujo del Proceso Gel-Press.

5 CAPÍTULO

EXPERIENCIA DE LABORATORIO

TABLA DE CONTENIDOS

5.1	DATOS Y EXPERIENCIA DE LABORATORIO.....	67
5.2	ESTABLECIMIENTO DE LA PLANTA	72

5.1 DATOS Y EXPERIENCIA DE LABORATORIO

Las experiencias desarrolladas durante las investigaciones N°1 y N°2 se fundamentaron en determinar el máximo número de parámetros de proceso como sea posible, que afectan de manera considerable al proceso asociado a las tecnologías de extracción Alcohol-Press y Gel-Press.

En consecuencia para el tema que se está desarrollando, sólo se referenciará y expondrán los resultados obtenidos para el proceso de Gel-Press, del que se obtuvo carragenina Kappa I.

- **Etapas de Experiencia**

- *Obtención de Materia Prima:* La materia prima fue adquirida desde la empresa Gelymar y se recibió alga de tipo *Eucheuma Cottonii* nativa (FS-Cottonii) y *Eucheuma Cottonii* procesada (FS-SK), ambas poseían un 50% de humedad, y presentaban ausencia de cualquier elemento extraño a ellas, es decir 100% puras.

Parámetros de Materia Prima	Datos
Humedad	50%

Tabla 5.1 Parámetros de Materias Primas.

- *Extracción:* Se realizaron numerosas mezclas de algas para encontrar la relación entre las algas que fuese la óptima, la mezcla que tuvo un mejor comportamiento al proceso fue conformada por un 75% en peso de FS-Cottonii y el 25% restante fue contribuido por alga FS-SK. Con la combinación ya descrita la solubilidad se logra a los 90°C, luego de 1,5 a 2 horas de continua agitación. La viscosidad de la solución a esta temperatura alcanzó los 160 cP.

Parámetros de Extracción	Datos
Temperatura	90 °C
% en Peso de FS-Cottonii	75%
% en Peso de FS-SK	25%
Viscosidad	160 cP
Tiempo de Residencia	2 hr.
Masa de Alga	100 g
Volumen de Solución	1000 ml

Tabla 5.2 Parámetros de Extracción.

- *Filtración:* Por razones de falta de equipos a escala la filtración se basó en hacer pasar la solución por gravedad en coladores dispuestos en serie, de tamaños de poros distintos. La finalidad de esta etapa no se cumplió en su totalidad, ya que gran parte de la celulosa no se pudo atrapar en los coladores. La temperatura al final del filtrado es de 87°C, la viscosidad disminuyó a 140cP y el tiempo que duró esta etapa es de 10 minutos.

Parámetros de Filtración	Datos
Viscosidad Final	140 cP
Temperatura Final	87 °C
Tiempo de Residencia	10 min.

Tabla 5.3 Parámetros de Filtración.

- *Precipitación:* A continuación de la filtración, el producto se deja enfriar hasta que su temperatura logre llegar a unos 40°C, entonces se realiza la precipitación agregando Cloruro de Potasio KCl, esta sal se prepara a una concentración en peso mínima de 15%, por debajo de este porcentaje la sal no logra precipitar toda la carragenina que trae la solución, por otro lado una concentración mayor no implica que se obtenga un rendimiento distinto al ya conseguido. El equilibrio de la solución de carragenina v/s KCl está en un rango de 1:0,5/1:1, y el tiempo que toma esta etapa es de 10 minutos.

Parámetros de Precipitación	Datos
Temperatura	40 °C
Concentración Solución de KCl	14-16%
Razón: Solución/KCl	1:0,5 / 1:1
Tiempo de Residencia	10 min.

Tabla 5.4 Parámetros de Precipitación.

- *Repulpado y Prensado:* En esta fase lo que se realizó es blanquear, descontaminar y desaguar el producto. El descontaminado y blanqueado lo apporto el Cloro Comercial (Hipoclorito de Sodio al 5%, NaOCl), la relación de cloro agregada respecto al volumen de precipitado tratado se mantuvo en un promedio del 3 al 5%. El prensado se obtuvo luego de comprimir lo máximo posible el precipitado de forma manual. El tiempo que tomó esta etapa no superó los 10 minutos.

Parámetros de Repulpado	Datos
% de Cloro en Volumen	5%
Tiempo de Residencia	10 min.

Tabla 5.5 Parámetros de Repulpado.

- *Secado:* Se efectuó a 100°C, por un periodo de 1,5 horas, tiempo suficiente para que la carragenina final no posea más de un 8% de humedad, además se evita cualquier peligro de quemado del producto.

Parámetros de Secado	Datos
Temperatura	100 °C
Humedad final de Carragenina	8%
Tiempo de Residencia	1,5 hr.

Tabla 5.6 Parámetros de Secado.

- *Molienda y Tamizaje*: El molido de la carragenina se realizó con un mortero y recipiente de loza, el producto de molienda se tamizó, lográndose un producto con las características siguientes de granulometría; Bajo #100 un 95% y Bajo #200 un 90%. Esta sección del proceso duró alrededor de 30 minutos.

Parámetros: Molino y Tamiz	Datos
Bajo # 100	95%
Bajo # 200	90%
Tiempo de Residencia	30 min.

Tabla 5.7 Parámetros de Molienda y Tamizaje.

- **Resultado de Experiencia de Laboratorio**

Resultados Experimentales	
Tiempo total del Proceso Gel-Press	4,0 – 5,0 hr. promedio
Materia Prima en Base Húmeda	100 g
Materia Prima en Base Seca	50 g
Carragenina Kappa I Obtenida	27 g
<i>Rendimiento del Proceso</i>	<i>54%</i>

Tabla 5.8 Resultado Representativo de Experiencias de Laboratorio.

- **Equipos y Materiales para Experiencia de Laboratorio**

- *Vasos de Precipitado (1.000 ml, 500 ml y 50 ml). Viscosímetro. Termómetro. Coladores Varios. Morteros y Recipientes de loza. Mecheros. Espátulas. Crisoles. Horno de Secado. Papel Filtro. Algas (Cottonii y SK). Cloruro de Potasio (KCl). Agua. Cloro Comercial (hipoclorito de sodio, NaClO). Agitador. Balanzas. Tierras Filtrantes (sin resultados debido a la falta de equipo de prensa). Embudo y Otros.*

A modo de conclusión de la experiencia de laboratorio se puede decir que el proceso es de mediana complejidad, debido a sus numerosas etapas las cuáles poseen particularidades propias que se deben tener en cuenta y controlar a la hora de operar. El rendimiento de la producción es muy atractivo a primera vista, 54%, a este resultado hay que restarle la cantidad celulosa que trae el alga (entre un 15 a 40%) que no se pudo eliminar en la etapa de filtrado, considerando este elemento el proceso sigue siendo de un rendimiento alto, aproximadamente 40%. El trabajo aportó con datos de temperaturas de solubilización, secado, enfriado, tiempos de cada etapa, viscosidad en la etapa de disolución, granulometría, etc.

Todos los resultados que arroja la experiencia de laboratorio estarán vinculados con los datos a usar a un nivel industrial, ya sea como referencias o como un factor a escalar.

5.2 ESTABLECIMIENTO DE LA PLANTA

La problemática de la elección de la zona idónea para el establecimiento de la planta radica en varios factores importantes. En primera instancia se debe hacer referencia al establecimiento de donde se adquirirán las materias primas, las que son importadas, por tanto es prioritario que el lugar elegido sea cercano a alguno de los puertos nacionales. El argumento del uso de energía eléctrica y agua en grandes cantidades determina que el lugar de preferencia esté ubicado entre la zona Central y Sur de Chile. El producto debe ser transportado y distribuido de manera óptima por lo que se tiene que contar con carreteras que comuniquen a todo Chile.

Las proyecciones de la empresa están dirigidas a la producción de todos los tipos de carrageninas, es por esto que el punto estratégico de la planta estará determinado por el futuro de la empresa, la que aparte de producir todas las carrageninas comerciales existentes aspira a generar en un tiempo no superior a los 15 años de vida su propia materia prima, realizando estudios de las distintas algas marinas. Para ello se ha optado por establecer la planta en un lugar donde tanto la empresa privada como las entidades estatales promuevan la investigación, desarrollo y cultivo de las algas para carrageninas, son estas las razones del porqué se pretende una zona donde los cultivos y concesiones marítimas sean las mayores de todo Chile, esta zona es la Décima Región de los Lagos, específicamente en sectores circundantes a Puerto Montt.

En este lugar se dispone de materias primas, Universidades preocupadas de investigar e invertir en tecnologías que logren desarrollar nuevos usos y aplicaciones de las carrageninas, existe un puerto próximo para exportar e importar los productos, es una zona de muchos ríos. De aquí se concibe el hecho de que el sector sea el ya nombrado, Puerto Montt o sus entornos.

- **Particularidades de la Zona Elegida**

- La ruta que comunica a Puerto Montt con Chiloé, es la zona apropiada para la instalación de la planta, posee conexiones para distribuir vía marítima el producto tanto en la isla como también en el puerto EMPORCHI en Puerto Montt, además la carretera (Panamericana Sur) ofrece un enlace con todos los lugares del país.
- La Décima Región, cuenta con el 95% del total de concesiones marítimas destinadas al cultivo y estudio de las algas para carrageninas, de éstas el 90% se desarrollan entre Puerto Montt y Chiloé.
- El 90% de las empresas productoras de hidrocoloides (Algina, Agar-Agar y Carragenina), poseen sus plantas en lugares cercanos a Puerto Montt.
- Las casas de estudios del sector (Universidad de los Lagos, Austral, San Sebastián, etc.) en conjunto con empresas de importancia mundial (Gelymar y Danisco), están desarrollando investigaciones para lograr ampliar el campo de usos de las carrageninas, entregarles un mayor valor agregado al producto final y lo más interesante es el objetivo de producir todas las fuentes de algas a través de cultivos.
- La gran cantidad y calidad de ríos existentes, junto con la disponibilidad de terrenos hacen que el establecimiento de la planta sea óptimo. El proceso presenta un enorme consumo de agua, al igual que todo lo que se refiere al lavado y limpieza de equipos y planta. El costo de operación se ve muy beneficiado gracias al uso de aguas de río. El suministro de energía eléctrica en este sector es óptimo y de costo razonable.

- En este sector se encuentra la mayor reserva mundial natural de algas de aguas frías para producir carragenina Lambda, que comprende el 20% del mercado global.

6 CAPÍTULO

BALANCES DE MASA Y ENERGÍA

TABLA DE CONTENIDOS

6.1	INTRODUCCIÓN	76
6.2	CONSIDERACIONES PARA LOS BALANCES	76
6.3	BALANCE DE MASA GLOBAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN	77
6.4	BALANCES DE MASA Y ENERGÍA POR ETAPAS	79

6.1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo de este capítulo, tiene como objetivo proporcionar las cantidades de masa y energía que se manipularán en las distintas etapas del proceso de producción, esto determinará la magnitud de los equipos a utilizar, lo cual está directamente relacionado con el capítulo de evaluación económica, en el que se estiman los costos de éstos.

Tal como se justifica en el capítulo de análisis de mercado (Tabla 3.12), la planta posee una capacidad en su primer año de 1000 toneladas, no obstante los balances se realizarán con una capacidad mucho mayor considerando la proyección de la producción de la planta a diez años de funcionamiento, lo que implica que los cálculos para balances y diseño son determinados por una producción en el décimo año de operación de la planta, donde la producción alcanzaría 1.551,33 toneladas de Carragenina Kappa1.

6.2 CONSIDERACIONES PARA LOS BALANCES

- a) **Balace de Energía:** Los balances de energía requeridos son calculados dependiendo la etapa o equipo que se esté analizando. En cada una de éstas se entregarán los datos específicos de estado, como es la temperatura base de entalpía, los calores de formación, entre otros datos necesarios para efectuar los cálculos. Para obtener los resultados de energía se establecen medidas de entalpía de entrada y salida de sistemas, conforme a la siguiente ecuación:

$$H_c = m * \Delta H_{fi}^{\circ} + m * \int_i^T C_{p_i} * dt \quad \text{Ec. 6.1}$$

En donde:

H_c : Entalpía total del flujo c, a la entrada o salida de una etapa o equipo. (KJ)

ΔH_{fi}° : Entalpía de Formación del compuesto i. (KJ/mol)

C_{p_i} : Capacidad Calorífica del compuesto i. (KJ/Kg*K)

m : Masa de entrada o salida del compuesto i. (kg)

T : Temperatura de entrada o salida del compuesto i . (K)

t : Temperatura base de entalpía para el compuesto i . (K)

A partir del cálculo de las entalpías se establece la cantidad de calor involucrado en la etapa o sistema que se trate, de acuerdo a las relaciones presentadas a continuación:

$$\Delta H = H_{salida} - H_{entrada}$$

$$Q = \Delta H \quad \text{Ec. 6.2}$$

En donde:

ΔH : Diferencia entre entalpía de salida y entrada. (KJ)

$H_{entrada}$: Entalpía de entrada. (KJ)

H_{salida} : Entalpía de salida. (KJ)

Q : Calor total generado. (KJ)

b) Balance de Masa: En cuanto a los balances de masa, se supone que la materia prima ingresa libre de materias y residuos externos a ella. Por ley de Conservación de la Materia se tiene que:

$$M_{entrada} = M_{salida}$$

En donde:

$M_{entrada}$: Flujo Másico de entrada. (Ton/año)

M_{salida} : Flujo Másico de salida. (Ton/año)

Lo anterior se cumple sólo si el sistema no presenta acumulación, como es el caso de este proceso (Proceso en Estado Estable).

6.3 BALANCE DE MASA GLOBAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

El balance de masa global incluye la adición de todas las corrientes que entran al proceso, como son las corrientes de algas, tierras filtrantes, NaOH, agua, KCl y cloro comercial. De la misma forma se detallan los flujos de salida que corresponden, a purgas

que derivan de las distintas etapas de filtración, vapor de agua generado en la etapa de secado y pérdidas producidas en cada etapa de elaboración.

En la fig. 6.1 se muestra un diagrama que agrupa a las corrientes entradas y salidas del proceso.

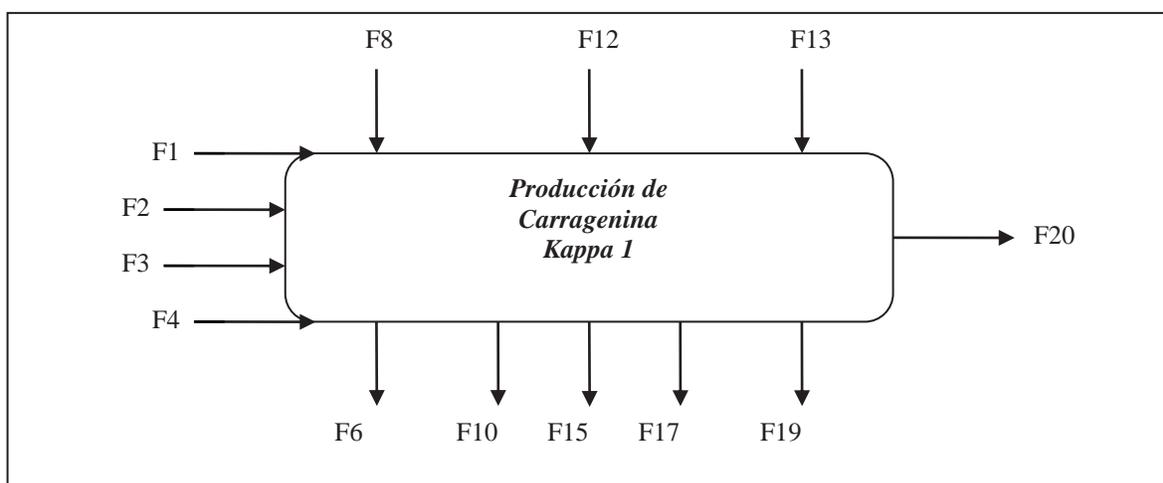


Figura 6.1 Balance Global de Masa.

En seguida se exponen tablas, 6.1 y 6.2 donde se detalla el flujo másico de cada corriente de entrada y salida respectivamente. Los totales de entrada y salida son idénticos e igual a 79.169,09 ton/año, confirmando la teoría que la masa de entrada es igual a la masa que se retira en sistemas que se comportan como estado estable.

$$M_{entrada} = M_{salida}$$

$$F1 + F2 + F3 + F4 + F8 + F12 + F13 = F6 + F10 + F15 + F17 + F19 + F20$$

Entradas	Compuesto	Masa (Ton/año)
F1	Alga Húmeda	6.358,95
F2	Agua	63.589,52
F3	Base (NaOH)	355,91
F4	Tierra Filtrante	508,72
F8	KCl (15%p/v)	8.210,62

F12	KCl (2%p/v)	119,59
F13	Cloro Comercial	25,79
Total Entradas = 79.169,09 Ton/año		

Tabla 6.1 Corrientes de Entrada del Proceso.

Salidas	Etapa	Masa (Ton/año)
F6	Torta Filtración	23.215,31
F10	Tamizado Húmedo	32.620,78
F15	Filtrado Final	21.149,27
F17	Secador	625,55
F19	Molienda	6,84
F20	Producto Final	1.551,33
Total Salidas = 79.169,09 Ton/año		

Tabla 6.2 Corrientes de Salida del Proceso.

6.4 BALANCES DE MASA Y ENERGÍA POR ETAPAS

La base de todos los cálculos es la producción anual de Carragenina Kappa1, es decir 1.551,33 toneladas, la que posee un 8% en peso de humedad.

6.4.1 Extracción

Esta etapa es la de mayor importancia, ya que es aquí donde ocurre la reacción que permite extraer la carragenina Kappa1 del sustrato, por medio de una lixiviación. La reacción propuesta es la que sigue:



a) **Balance de Masa Extracción:**

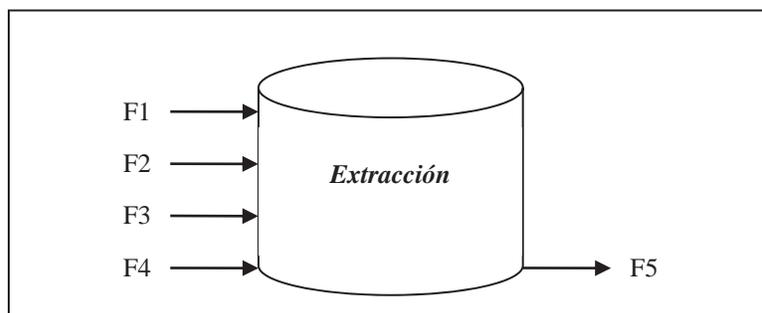


Figura 6.2 Diagrama de Flujo, Extracción.

Tal como se aprecia en la fig. 6.2, esta etapa posee cuatro flujos de entrada de cantidades conocidas, de éstas se desprende un corriente F5, que es la suma de todas las entradas.

Balance:

$$F1 + F2 + F3 + F4 = F5$$

Flujos	
Corrientes	Compuesto
F1	Alga seca
F2	Agua
F3	NaOH
F4	Tierras
F5	Disolución

Tabla 6.3 Especificación de Flujos Másicos.

Parámetros a considerar:

Parámetros Extracción	
%p/v NaOH/Agua	0.56%
% p/p Tierras/Alga Húmeda	8%
%p/v Disolución (Alga Húmeda/Agua)	10%
% p/p Humedad del Alga	35.8%
%p/p Rendimiento (Kappa1/Alga Seca)	38%
% Molar de Conversión de la Reacción	84%

Tabla 6.4 Parámetros de Extracción.

%p/v: Porcentaje peso/volumen; %p/p: Porcentaje en peso/peso

Composición del Alga Seca	
Compuesto	Porcentaje en Peso
μ -SO ₃ -	51%
Celulosa	40%
Sólidos	9%

Tabla 6.5 Composición de Alga Marina en base seca.

Tanto los parámetros de extracción como los datos de composición son relevantes para la determinación de las corrientes de entrada y salida de la etapa.

A continuación en tabla 6.6 se entrega la composición másica de las corrientes de entrada:

Entradas	Compuesto	Masa (ton/año)	% en Peso
F1	Alga Seca	4.082,45	5,77
F2	Agua	65.866,03	93,01
F3	NaOH	355,91	0,50
F4	Tierras	508,72	0,72
	Total	70,813.10	100

Tabla 6.6 Corrientes de Entrada Extracción.

Luego gracias al balance y la reacción se determina F5, que es la corriente de salida de la etapa de extracción con su respectivo desarrollo por compuesto:

Compuesto	Masa (ton/año)	% en Peso
Carrag. Kappa1	1.449,96	2,05
Agua	65.933,29	93,11
NaOH	56,94	0,08
Tierras	508,72	0,72
Sulf. de Sodio	530,66	0,75
Residuos	2.333,53	3,30
Corriente F5	70.813,10	100,00

Tabla 6.7 Corriente de Salida Extracción.

b) Balance de Energía Extracción:

El balance de energía para la etapa de extracción se calcula en partes separadas, una considerando a todos los compuestos que participan en la reacción y el otro balance se realiza para aquellos elementos inertes. De la suma de ambos balances se consigue el calor total involucrado en la etapa. Las bases de entalpía para cada caso se muestran a continuación:

Base de Entalpía	
Compuesto	T° Base
Reactantes	25 (°C)
Inertes	15 (°C)

Tabla 6.8 Base de Entalpía Extracción.

Energía de Compuestos Reaccionante: El cálculo proviene del desarrollo de la ecuación de reacción propuesta en el capítulo anterior, la reacción posee una conversión de 84%:



Los datos de pesos moleculares, capacidades caloríficas y calores de formación para los compuestos NaOH, Na₂SO₄ y agua se obtienen de datos bibliográficos, no así los datos para la carragenina μ y Kappa1, los cuales se expondrán en el Anexo B.

Para los respectivos cálculos de balance se dispone de los siguientes datos:

Datos de Temperaturas de Balance	
T1, Temperatura inicial de Reactivos	15 (°C)
T2, Temperatura final Productos	90 (°C)

Tabla 6.9 Temperaturas de Entrada y Salida del Reactor.

Se determina a continuación los valores de entalpías por compuesto y en consecuencia se obtiene la entalpía total a la entrada de los compuestos reaccionantes.

Los resultados son:

PM	Compuesto	Masa (Ton)	ΔH_f° (KJ/mol)	Cp (KJ/Kg*K)	H entrada (GJ/año)
468	μ -SO ₃ (s)	2.082,05	-2.240,24	1,09	-9.943,83
40	NaOH (s)	355,91	-425,61	1,18	-3.782,72
18	H ₂ O (l)	65.866,03	285,83	4,18	1.048.671,76

Tabla 6.10 Entalpías de Reactivos a la Entrada.

$$H1 = H_{\mu\text{SO}_3} + H_{\text{NaOH}} + H_{\text{H}_2\text{O}}$$

Donde:

$H1$: Entalpía Total de Reactantes a la entrada. (GJ/año, Gcal/año)

$H_{\mu\text{SO}_3}$: Entalpía de entrada de carragenina μ . (GJ/año)

H_{NaOH} : Entalpía de entrada de NaOH. (GJ/año)

$H_{\text{H}_2\text{O}}$: Entalpía de entrada del Agua. (GJ/año)

$$H1 = 1.034.945 \text{ (GJ/año)} = 247.352 \text{ (Gcal/año)}$$

A continuación se calculan los valores de entalpías por compuesto y se obtiene la entalpía total a la salida de los compuestos producidos. Los resultados son:

PM	Compuesto	Masa (Ton)	ΔH_f° (KJ/mol)	Cp (KJ/Kg*K)	H salida (GJ/año)
468	μ -SO3 (s)	333,13	-2.240,24	1,09	-1.571
40	NaOH (s)	56,94	-425,61	1,18	-541
388	KI (s)	1.449,96	-1.689,51	1,12	-6.208
142	Na2SO4 (sol)	530,66	-1.383,74	0,97	-5.138
18	H2O (l)	65.933,29	285,83	4,18	1.064.915

Tabla 6.11 Entalpías de Productos a la Salida.

$$H2 = H_{\mu SO3} + H_{NaOH} + H_{KI} + H_{Na2SO4} + H_{H2O}$$

Donde:

$H2$: Entalpía Total de Productos a la Salida del Reactor. (GJ/año, Gcal/año)

$H_{\mu SO3}$: Entalpía de salida de carragenina μ . (GJ/año)

H_{NaOH} : Entalpía de salida de NaOH. (GJ/año)

H_{KI} : Entalpía de salida de Carragenina Kappa 1. (GJ/año)

H_{Na2SO4} : Entalpía de salida del Sulfato. (GJ/año)

H_{H2O} : Entalpía de salida del Agua. (GJ/año)

$$H2 = 1.051.457 \text{ (GJ/año)} = 251.298 \text{ (Gcal/año)}$$

Luego de determinar las entalpías de entrada y salida totales, se calcula el calor de los compuestos reaccionantes.

$$Q_1 = H2 - H1$$

Q_1 : Flujo de calor necesario de ingresar al proceso. (GJ/año; Gcal/año)

$$Q_1 = 16.512 \text{ (GJ/año)} = 3.946 \text{ (Gcal/año)}$$

Energía de Compuestos No Reaccionante: El calor producido por los compuestos que no participan en la reacción, se basa solo en el calentamiento de la disolución, a estos se les aumenta la temperatura desde 15°C a 90°C.

Los sólidos considerados para este balance son los residuos del alga seca, compuesto en su mayoría por celulosa con más de un 80% en peso, es por esta razón que la capacidad calorífica seleccionada para realizar los cálculos es la capacidad calorífica de la celulosa.

$$Q_{NR} = m_{NR} * C_{p_{NR}} * \Delta T_{NR}$$

Donde:

m_{NR} : Masa de sólidos no reaccionantes. (Kg)

$C_{p_{NR}}$: Capacidad Calorífica de los sólidos no reaccionantes. (KJ/Kg*K)

ΔT_{NR} : Diferencia de Temperatura de la entrada y salida de sólidos. (K)

Q_{NR} : Flujo de Calor a ingresar para el calentamiento de compuestos inertes. (GJ/año, Gcal/año)

Se tiene como datos que:

Compuesto	Masa (ton)	Cp (KJ/Kg*K)
Sólidos	2.000,40	1,34

Tabla 6.12 Datos de Compuestos Inertes.

Por lo tanto el calor es:

$$Q_{NR} = 201 \text{ (GJ/año)} = 48 \text{ (Gcal/año)}$$

Para finalizar se calcula el flujo de calor total de la etapa de Extracción, el que esta dado por:

$$Q_{Extracción} = Q_1 + Q_{NR}$$

Donde:

$Q_{Extracción}$: Flujo total de Calor a Ingresar en la etapa de Extracción. (GJ/año; Gcal/año)

$$Q_{\text{Extracción}} = 16.713 \text{ (GJ/año)} = 3.994 \text{ (Gcal/año)}$$

6.4.2 Filtración Primaria

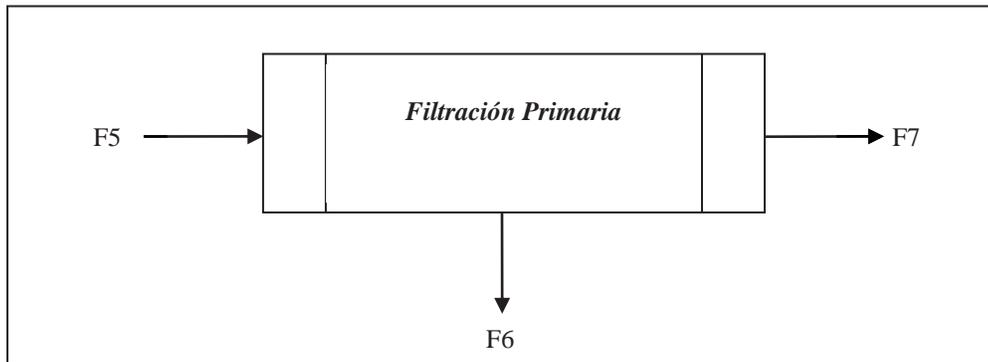


Figura 6.3 Diagrama de Flujo, Filtración Primaria.

Se sabe la masa que se retiene en la torta formada por las tierras filtrantes y la composición de la torta retirada, esto está determinado por los parámetros siguientes:

Parámetros de Filtración Primaria	
%p F5 Retirado	32,78%
%p Agua retirada/Agua en F5	30%
%p NaOH retirada /NaOH en F5	100%
%p Tierras retirada /Tierras en F5	100%
%p Na ₂ SO ₄ retirada /Sulfato en F5	100%
%p Kappa1 retirada /Producción anual	3,5%
%p Residuos de Alga retirada /Alga Seca	57,16%

Tabla 6.13 Parámetros de Cálculos.

Como se conoce el flujo de entrada al filtro y la cantidad que se retira, entonces se determina el valor de la corriente restante, según la ecuación:

$$F5 = F6 + F7$$

Flujos	
F5	Disolución de Carragenina Kappa1
F6	Torta Retirada
F7	Disolución Filtrada

Tabla 6.14 Especificaciones de Flujos para el Balance de Masa.

Conocido el flujo y composición de F5 (Fig.6.3), se determina F6:

$$F6 = 23.215,31 \text{ (Ton/año)}$$

Acorde a los parámetros entregados en tabla 6.13, la composición de F6 es:

Compuesto	Flujo Másico (ton/año)	% en Peso
Carrag. Kappa1	5,48	0,02
Agua	19.779,99	85,20
Sulf. de Sodio	530,66	2,29
NaOH	56,94	0,25
Tierras	508,72	2,19
Residuos. Algales	2.333,53	10,05
Corriente F6	23.215,31	100,00

Tabla 6.15 Flujo Másico y Composición en Peso de F6 (Torta).

Luego por diferencia se obtiene el flujo másico y composición en peso de la corriente F7, esta es:

Compuesto	Masa (ton/año)	% en Peso
Carrag. Kappa1	1.444,48	3,03
Agua	46.153,31	96,97
Corriente F7	47.597,78	100,00

Tabla 6.16 Flujo másico y Composición en Peso de F7 (Solución Filtrada).

6.4.3 Enfriamiento

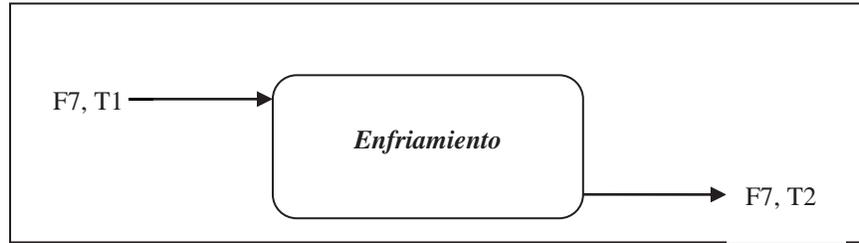


Figura 6.4 Diagrama de Flujo, Enfriamiento del Producto (F7).

Flujo y Temperaturas	
F7	Solución Filtrada
T1	Temperatura de Entrada, Solución Filtrada
T2	Temperatura de Salida, Solución Filtrada

Tabla 6.17 Especificación de Temperaturas y Flujo.

Conocido el flujo y composición de F7 y en consecuencia a la predominancia del agua en esta corriente se asume que la capacidad calorífica de la solución filtrada es prácticamente la del agua, en seguida se procede a mostrar los datos que se conocen y ocupan para que opere el intercambiador de calor.

Parámetros	
F7	47.597,78 (ton/año)
T1	80 (°C)
T2	40 (°C)
Cp _{solución}	4,18 (KJ/Kg*K)

Tabla 6.18 Parámetros de Enfriamiento.

Utilizando los parámetros entregados se determina el flujo de calor que la solución filtrada le transfiere al agua de enfriamiento, considerando la ecuación que sigue:

$$Q_{Inter} = F7 * Cp_{Solución} * (T_2 - T_1) = F_{Agua} * Cp_{Agua} * (T_4 - T_3)$$

Donde:

Q_{Inter} : Flujo de Calor Entregado por la solución filtrada. (GJ/año; Gcal/año)

$$Q_{Inter} = 7.966 \text{ (GJ/año)} = 1.904 \text{ (Gcal/año)}$$

6.4.4 Precipitación

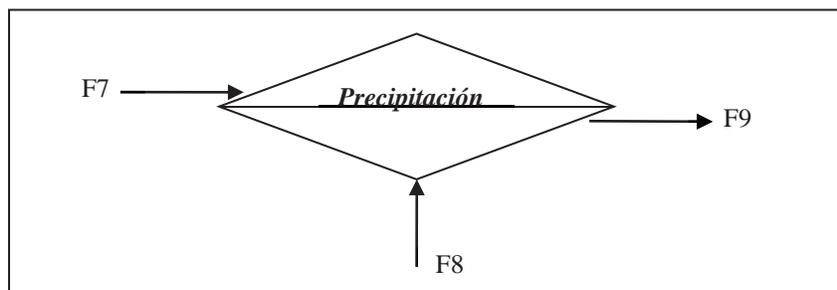


Figura 6.5 Diagrama de Flujo, Precipitación.

Flujos	
F7	Solución de Kappa1
F8	KCl al 15% en peso
F9	Precipitado Kappa1

Tabla 6.19 Especificación de Corrientes.

Para realizar la precipitación se debe tener en cuenta ciertos datos y parámetros, los que se muestran en seguida:

Parámetros de Cálculo	
% v KCl(15%), Respecto al agua en F7	15%
%p de KCl en solución	15%

Tabla 6.20 Parámetros y datos.

Luego como se conoce el volumen de agua en F7 (tabla 6.16), se obtiene el volumen de solución de KCl al 15% en peso a utilizar en la precipitación y asimismo se determina la composición de ésta.

Compuesto	Masa (toneladas/año)	% en Peso
Agua	6.923,00	85,00
KCl	1.221,71	15,00
Corriente F8	8.144,70	100,00

Tabla 6.21 Flujo Másico y Composición en peso de F8.

Como se ha determinado F7 y F8, por diferencia se cierra el balance másico y se obtiene F9, con su respectiva composición en peso.

$$F7 + F8 = F9$$

Compuesto	Masa (toneladas/año)	% en Peso
Agua	53.076,30	95,22
Carrag. Kappa1	1.444,48	2,59
KCl	1.221,71	2,19
Corriente F9	55.742,49	100,00

Tabla 6.22 Flujo Másico y Composición en peso de F9.

6.4.5 Tamizado Húmedo y Filtración Secundaria

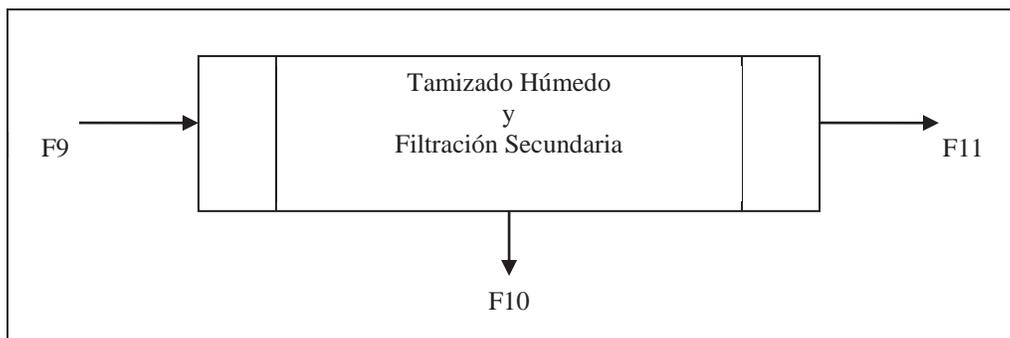


Figura 6.6 Diagrama de Flujo, Tamizado Húmedo y Filtración Secundaria.

Flujos	
F9	Flujo Precipitado
F10	Flujo Retirado
F11	Flujo Filtrado

Tabla 6.23 Especificación de Corrientes.

$$F9 = F10 + F11$$

Datos de operación de la etapa:

Parámetros de Cálculo	
%p F9 retirado	58,3%
%p Agua retirada/Agua en F9	60%
%p Kappa1 retirada /Producción anual	3,5%
%p KCl retirado/Agua retirada en F10	2%

Tabla 6.24 Parámetros de Operación.

Como F9 es conocido (tabla 6.22), y se conoce la masa a retirar en el filtrado, entonces se calcula la corriente F10 con su composición másica respectiva.

Compuesto	Masa (toneladas/año)	% en Peso
Carrag. Kappa1	5,48	0,02
Agua	31.845,78	98,02
KCl	636,92	1,96
Corriente F10	32.488,18	100,00

Tabla 6.25 Flujo Másico y Composición en peso de F10.

Luego se determina el flujo y composición en peso de la corriente de salida, F11:

Compuesto	Masa (toneladas/año)	% en Peso
Carrag. Kappal	1.439,00	6,19
Agua	21.230,52	91,30
KCl	584,79	2,51
Corriente F11	23.254,31	100,00

Tabla 6.26 Flujo Másico y Composición en peso de F11.

6.4.6 Repulpado

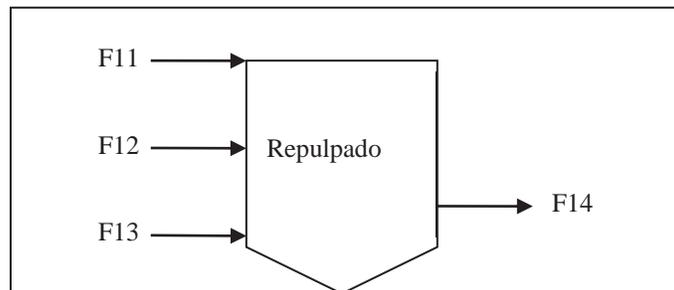


Figura 6.7 Diagrama de Flujo, Repulpado.

Flujos	
F11	Flujo a Repulpar
F12	Flujo KCl al 2% en peso
F13	Flujo de Cloro Comercial
F14	Flujo de Producto

Tabla 6.27 Especificación de Corrientes.

$$F11 + F12 + F13 = F14$$

Parámetros de la etapa:

Parámetros de Cálculos	
% v KCl(2%)/agua en F11	0,55%

%v Cloro/agua en F11	0,11%
Densidad del Cloro	1,12 Ton/m ³
Densidad del Agua	1 Ton/m ³

Tabla 6.28 Parámetros de Operación.

Conocido el flujo de agua en F11 (tabla 6.26), se determina el flujo de cloro comercial y también el flujo de KCl al 2% en peso.

Corrientes	Masa (toneladas/año)	% en Peso
F12	119,10	82,26
F13	25,68	17,74
Total	144,78	100,00

Tabla 6.29 Flujo de Corrientes agregadas en Repulpado.

A la salida de la etapa se determina el flujo F14 y su respectiva composición en peso:

Compuesto	Masa (toneladas/año)	% en Peso
Carrag. Kappa 1	1.439,00	6,15
Agua	21.347,29	91,23
KCl	587,12	2,51
Cloro Comercial	25,68	0,11
Corriente F14	23.399,09	100,00

Tabla 6.30 Flujo Másico y Composición en peso de F14.

6.4.7 Filtrado Final

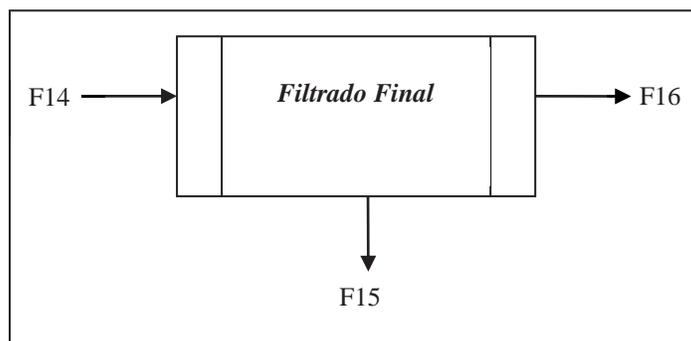


Figura 6.8 Diagrama de Flujo, Filtrado Final.

Flujos	
F14	Flujo de Repulpado
F15	Flujo Retirado de Proceso
F16	Flujo a Secar

Tabla 6.31 Especificación de Corrientes.

$$F14 = F15 + F16$$

Parámetros de la etapa:

Parámetros de Cálculos	
%p F14 Retirado	90,7%
%p Kappa1 retirada /Producción anual	3,5%
%p Agua retirada/Agua en F14	96,5%
%p KCl retirado/KCl en F14	100%
%p Cloro retirado/Cloro en F14	100%

Tabla 6.32 Parámetros de Operación.

Establecido el flujo F14 (tabla 6.30), se obtiene el valor del flujo F15, junto con su composición en peso, determinado por los parámetros ya expuestos.

Compuesto	Masa (toneladas/año)	% en Peso
Carrag. Kappal	5,48	0,03
Agua	20.600,13	97,09
KCl	587,12	2,77
Cloro Comercial	25,68	0,12
Corriente F15	21.218,42	100,00

Tabla 6.33 Flujo Másico y Composición en peso de F15.

A continuación se determina el flujo de producto que pasa al secador, F16:

Compuesto	Masa (toneladas/año)	% en Peso
Carrag. Kappal	1.433,52	65,74
Agua	747,16	34,26
Corriente F16	2.180,67	100,00

Tabla 6.34 Flujo Másico y Composición en peso de F16.

6.4.8 Secado

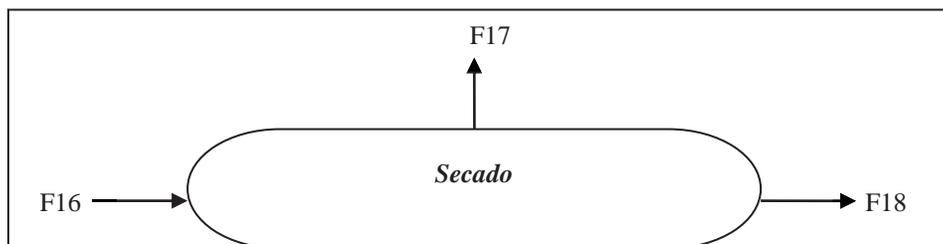


Figura 6.9 Diagrama de Flujo, Secado.

a) Balance Masa y Energía:

Flujos	
F16	Flujo a Secar
F17	Flujo de Agua Evaporada
F18	Flujo de Carrag. Kappal

Tabla 6.35 Especificación de Corrientes.

$$F16 = F17 + F18$$

Parámetros de la etapa:

Parámetro de Cálculo	
%p Humedad de Producto	8%

Tabla 6.36 Parámetros de Operación.

Tomando el dato de humedad a la salida del secador se determina la masa de agua evaporada, F17:

$$F17 = 622,50 \text{ (Ton/año)}$$

A continuación se calcula el flujo de salida del secador y su concentración en peso, F18:

Compuesto	Masa (Toneladas/año)	% en Peso
Carrag. Kappal	1.433,52	92,00
Agua	124,65	8,00
Corriente F18	1558,17	100

Tabla 6.37 Flujo Másico y Composición en peso de F18.

Conocidos los flujos a tratar y sus composiciones se muestran los parámetros necesarios para el secado:

Parámetros de Cálculos	
Temperatura Entrada Aire	90 (°C)
Temperatura Salida Aire	50 (°C)
Humedad Relativa Aire Entrada	3%
Temperatura Entrada Sólido	20 (°C)
Temperatura Salida Sólido	40 (°C)

Tabla 6.38 Parámetros de Operación.

Se dispone de las siguientes ecuaciones:

$$S * (X_e - X_s) = G * (Y_s - Y_e)$$

$$S * (H_e - H_s) = G * (h_s - h_e) + Q$$

Donde:

S : Flujo Másico de Sólidos Seco. (kg/año)

G : Flujo Másico de Aire Seco. (kg/año)

X_e, X_s : Humedad de Sólido a la entrada y salida. (kg_{Agua}/kg_{Sólido Seco})

Y_e, Y_s : Humedad del Aire a la entrada y salida. (kg_{Agua}/kg_{Aire Seco})

H_e, H_s : Entalpía de Sólido a la entrada y salida. (KJ/Kg)

h_e, h_s : Entalpía del Aire a la entrada y salida. (KJ/Kg)

Q : Calor Perdido. (KJ)

Se asume que las pérdidas de calor son despreciables, o sea, $Q = 0$ (KJ)

Los datos conocidos para realizar los balances de masa y energía se proporcionan a continuación:

Datos Conocidos	
S	1.433.517,15
Xe	0,521
Xs	0,087
Ye	0,014

Tabla 6.39 Datos para Cálculos.

El desarrollo de las ecuaciones y los cálculos realizados para obtener y determinar cada una de las incógnitas son expuestas en el anexo B.

Conforme a lo antepuesto se determina:

Resultados de Balances	
Ys	0,030
hs	128.947,49
G	38.169.037,04

Tabla 6.40 Resultados de Masa y Energía final de Secado.

6.4.9 Molienda y Tamizaje

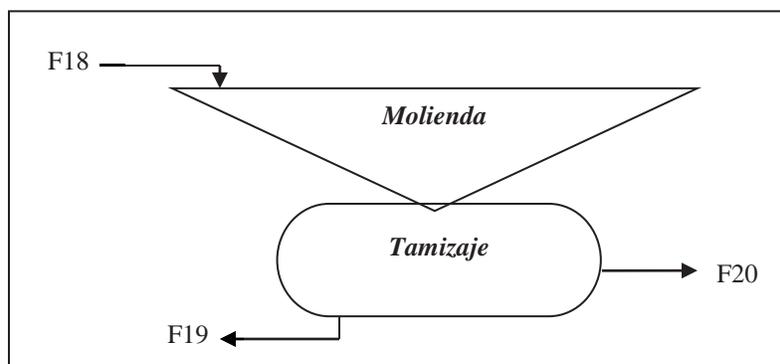


Figura 6.10 Diagrama de Flujo, Molienda y Tamizaje.

Flujos	
F18	Flujo Secado
F19	Pérdida Carrag. Kappa1
F20	Producto Final

Tabla 6.41 Especificación de Corrientes.

$$F18 = F19 + F20$$

Parámetro de etapa:

Parámetro de Cálculo	
%p F19, respecto a Producto Final	0,44%

Tabla 6.42 Parámetro de Operación.

Luego se determina F19:

$$F19 = 6,84 \text{ (Ton/año)}$$

Definitivamente se establece el flujo de producto a comercializar como Carragenina Kappa1, es decir:

Compuesto	Masa (Toneladas/año)	% en Peso
Carrag. Kappa1	1.426,67	92
Agua	124,65	8
Corriente F20	1551,33	100,00

Tabla 6.43 Flujo Másico y Composición en peso de Carragenina Kappa1 Comercial.

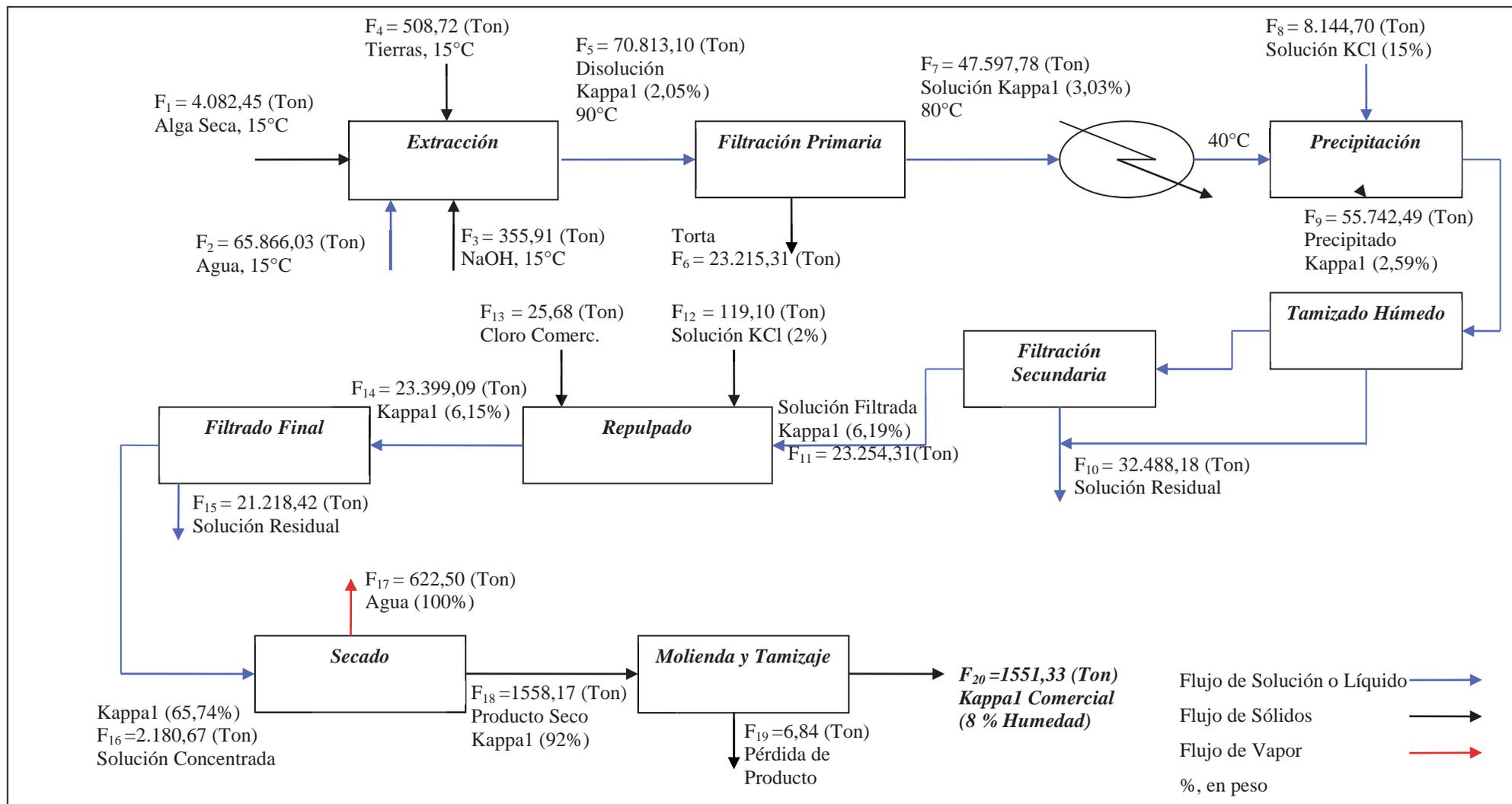


Figura 6.11 Diagrama de flujo Definitivo del Proceso Gel-Press.

7 CAPÍTULO

DISEÑO DE EQUIPOS Y COSIDERACIONES

TABLA DE CONTENIDOS

7.1	DISEÑO DE EQUIPOS.....	102
7.2	EQUIPOS PRINCIPALES	102
7.3	EQUIPOS AUXILIARES.....	134
7.4	CUADRO RESUMEN CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE EQUIPOS	139

7.1 DISEÑO DE EQUIPOS

En el siguiente capítulo se desarrollará el diseño operativo de los equipos principales, así como el diseño mecánico básico de éstos. Considerando para esto bases de diseño, variables específicas de operación y criterios de diseño para cada etapa y equipo por separado.

El dimensionamiento de los equipos resulta de la producción anual que proyecta la empresa a diez años de operación, considerando un crecimiento de producción anual de la planta de 5%. La cantidad producida para el primer año es de 1.000 toneladas, por lo tanto se esperará producir el año décimo un total de 1.551,33 toneladas.

Al diseño de los equipos con la capacidad plena de la planta en el año diez, se le aplicará un sobredimensionamiento de un 20%, con el objetivo de satisfacer futuros aumentos de producción.

Se establece que la planta opera 340 días/año, destinando el resto del año para labores de mantenimiento, reparación y reemplazo de equipos, maquinarias y líneas de proceso. El día laboral se proyecta para un sistema continuo de tres turnos de 8 horas cada uno.

Apoyado en todo lo explicado anteriormente se procede a diseñar cada equipo del proceso productivo.

7.2 EQUIPOS PRINCIPALES

7.2.1 Extracción

En esta etapa se produce la disolución del alga (lixiviación), esta operación necesita de agitación constante y de una temperatura que sobrepase los 90°C, durante todo el tiempo que dure esta extracción. Para lograr el objetivo de este subproceso es necesario un reactor con agitador que disponga de una chaqueta de calentamiento.

A. Diseño Operativo de Reactor Mezclador Enchaquetado

a) Diseño de Estanque:

Datos	
Masa de la mezcla	70.813,10 ton
Densidad de la mezcla	1,07 ton/m ³
Tiempo de residencia de la mezcla	2,5 h
Sistema Térmico	Adiabático
Presión	1 atm
Temperatura inicial	15 °C
Temperatura final	90 °C

Tabla 7.1 Datos para Diseño Operativo del Estanque.

Criterios de Diseño:

1) Relación de Altura y Diámetro:

Para estanques cilíndricos se recomienda aplicar las siguientes relaciones

$$\alpha = H / D_E \quad \text{Ec. 7.1}$$

$$D_E = \left(\frac{4 * V}{\pi * \alpha} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec. 7.2}$$

Donde:

α : Relación entre altura y diámetro, para diseño de estanque.

H : Altura de estanque. (m)

D_E : Diámetro interno del estanque. (m)

V : Volumen real del estanque. (m³)

Rango recomendado para α :

$$1 < \alpha < 5$$

- 2) **Régimen de Flujo:** El régimen está ligado con el número de Reynolds, e incide directamente con el tipo de aspas a usar y la potencia necesaria del sistema de agitación.

$$Re = \frac{D_A^2 * N * \rho}{\mu} \quad Ec. 7.3$$

Donde:

Re : Número de Reynolds

μ : Viscosidad de la solución. (Pa*s)

ρ : Densidad de la solución. (Kg/m³)

D_A : Diámetro del agitador. (m)

N : Revoluciones por segundo. (rps)

Régimen de Flujo	Reynolds
Turbulento	Re > 10.000
Transición	10 < Re < 10.000
Laminar	Re < 10

Tabla 7.2 Tipo de Flujo, dependiente del N° de Reynolds.

- 3) **Diámetro del Agitador:**

$$D_A = D_E * 0.6 \quad Ec. 7.4$$

- 4) **Ancho de Aspas:**

$$A_{aspas} = \frac{D_E}{15} \quad Ec. 7.5$$

- 5) **Diámetro del Impulsor:**

$$D_I = D_A * 0.4 \quad Ec. 7.6$$

- 6) **Longitud de Vástago:**

$$L_{vástago} = H - \frac{D_E}{3} \quad Ec. 7.7$$

7) **Tipo de Cabezal:** Como se trata de una mezcla de viscosidad media y que debe filtrarse después, se recomienda un cabezal toriesferico, éste evita acumulación lo que permite un rápido y eficiente vaciado del estanque reactor.

$$V_{cab.} = D_E^3 * 0,0809$$

$$H_{cab.} = \frac{D_E}{2} * \tan(30) \quad \text{Ecs. 7.8 y 7.9}$$

8) **Volumen Operativo:**

Carga Diaria	193,92 m ³
Nº Cargas Diarias por estanque	9
Nº Estanques	2
Volumen Operativo por estanque	10,77 m ³
Volumen Real del Estanque	12,93 m ³

Tabla 7.3 Condiciones de Operación del Estanque.

Así se obtiene las dimensiones del equipo:

Dimensiones del Estanque	
α	2,3
D_E	1,93 m
H_E	4,43 m
$V_{cabezal}$	0,58 m ³
$H_{cabezal}$	0,56 m
V_{Total}	13,51 m ³
H_{Total}	4,99 m

Tabla 7.4 Dimensiones Calculadas para el Estanque.

b) **Diseño Chaqueta:** Para determinar las características del vapor a utilizar se desarrollarán las ecuaciones de transferencia de calor adecuadas, para las cuáles se necesitan de diversos parámetros conocidos que se entregan a continuación.

Datos Útiles	
Calor	867.786,73 Kcal/h
Altura Reactor	4,43 m
Radio Interno Reactor	0,96 m
Coefficiente Transf. De la Mezcla	557 Kcal/h*m ² *°C
Masa de Mezcla	11.570,77 kg
Temperatura inicial de la mezcla	15 °C
Temperatura final de la mezcla	90 °C
Tiempo de Suministro de Vapor	1 h
Área de Transferencia	26,83 m ²

Tabla 7.5 Datos para Diseño de Chaqueta de Vapor.

Características del Vapor	
Temperatura del Vapor	118,4 °C
Masa de Vapor Necesario	1.644,51 kg/h
Velocidad del Vapor	7,68 m/s
Presión de Vapor	186.28 KPa

Tabla 7.6 Características del Vapor.

- c) **Diseño de Sistema de Agitación:** Para establecer las particularidades del sistema de agitación se tiene como datos y parámetros lo siguiente.

Datos y Parámetros	
Viscosidad de la Mezcla	0,1 Pa*s
Densidad de la Mezcla	1,07 ton/m ³
Velocidad de Rotación	45 r.p.m.

Tabla 7.7 Datos para Diseño de Sistema de Agitación.

A partir de los datos entregados y los criterios de diseño se determina las dimensiones de cada parte del agitador.

Dimensiones del Agitador	
Diámetro del Agitador	1,16 m
Ancho de Aspas	0,13 m
Largo del Vástago	4,35 m
Diámetro del Impulsor	0,46 m

Tabla 7.8 Dimensiones del Agitador para el Estanque.

Con los datos obtenidos se procede a determinar el número de Reynolds y a elegir el número y forma de las aspas a utilizar.

$$\text{Reynolds} = 10.769,21$$

El número calculado nos permite saber que estamos en presencia de un régimen con características de flujo turbulento, bajo estas condiciones se recomienda usar aspas curvas y un número de 6 paletas.

1) Potencia del Motor para Agitación: La potencia del motor está condicionada por diferentes factores tanto de diseño como también por la naturaleza del fluido o mezcla. A partir de un número adimensional conocido como Número de Potencia (N_p), obtenido vía gráfico, ingresando con el Reynolds y el tipo de aspas seleccionado (Anexo D-ii.), se determina la potencia del motor. Ésta se define de acuerdo a la correlación que sigue:

$$P = \frac{\rho * N^3 * D_A^5 * N_p}{g_c} \quad \text{Ec. 7.10}$$

Donde:

P : Potencia del Motor. (Watt)

N_p : Número de Potencia. (Adimensional)

g_c : Factor de Conversión Gravitacional. ($\text{Kg} \cdot \text{m} / \text{N} \cdot \text{s}^2$)

N : Velocidad de Rotación. (r.p.s.)

D_A : Diámetro del Agitador. (m)

ρ : Densidad de Mezcla. (Kg / m^3)

Luego para un número de potencia, $N_p = 5$, se requiere de una potencia del motor:

$$P = 4.682,17 \text{ Watt} = 6,28 \text{ HP}$$

$$P_{\text{Estandarizado}} = 7 \text{ HP}$$

B. Diseño Mecánico del Reactor Mezclador Enchaquetado

Basado en que la carragenina Kappa 1 es utilizada mayoritariamente para productos que son consumidos por personas o están relacionados con productos de cuidado personal y de salud, es de vital importancia que la línea de proceso posea una higiene total y libre

de corrosión. Por lo tanto se selecciona como material de construcción de los estanques y cañerías para todo el proceso un acero del tipo inoxidable, AISI 304.

a) Cálculo de Espesores:

1) Carcasa: El estanque es sometido presión interna, lo que implica que el espesor se define de la forma que sigue:

$$t = \frac{P * r}{\sigma * \varepsilon - 0.6 * P} + t_c \quad \text{Ec. 7.11}$$

Donde:

t : Espesor de Diseño. (mm)

P : Presión de Operación. (lb_f/pulg²)

σ : Esfuerzo Máximo Permisible del material. (lb_f/pulg²)

ε : Eficiencia de Soldadura.

r : Radio Interno de la carcasa. (pulg)

t_c : Espesor de Corrosión. (pulg)

Para la determinación de espesores a todos los equipos que corresponda, se establece una eficiencia de soldadura, $\varepsilon = 0,9$, Debido a que la soldadura se somete a tratamientos de rayos X y térmicos.

A continuación se presentan los datos necesarios para obtener el espesor de diseño de la carcasa:

Datos Requeridos	
Presión de Operación	7,62 (lb _f /pulg ²)
Radio Interno de carcasa	37,94 (pulg)
Esf. Max. Permisible	16.500 (lb _f /pulg ²)
Ef. de Soldadura	0,9
Espesor de Corrosión	0,039 (pulg)

Tabla 7.9 Datos para Determinar Espesor de Carcasa.

Entonces:

$$t = 1,495 \text{ mm}$$

$$t_{\text{Estandarizado}} = 2 \text{ mm}$$

2) **Cabezal Toriesferico:** Al igual que la carcasa el cabezal queda sujeto a presión interna, con lo cual el espesor está definido de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$t = \frac{P * m * L}{2 * \varepsilon * \sigma - 0,2 * P} + t_c \quad \text{Ec. 7.12}$$

$$m = \frac{\left(3 + \sqrt{\frac{L}{icr}} \right)}{4} \quad \text{Ec. 7.13}$$

$$\frac{L}{icr} \leq 16,67 \quad \text{Ec. 7.14}$$

$$L \leq Di$$

Donde:

t : Espesor de Diseño. (mm)

P : Presión de Operación. (lb_f/pulg²)

σ : Esfuerzo Máximo Permisible del material. (lb_f/pulg²)

ε : Eficiencia de Soldadura.

icr : Radio de Curvatura. (pulg)

L : Diámetro Interno. (pulg)

t_c : Espesor de Corrosión. (pulg)

Conforme a las ecuaciones descritas y a datos conocidos se determina el espesor del cabezal toriesferico:

Datos y Relaciones Descritas	
Presión de Operación	7,62 lb _f /pulg ²
Esf. Max. Permisible	16.500 lb _f /pulg ²
Ef. de Soldadura	0,9
Radio de Curvatura	5,906 pulg
Diámetro Interno	75,87 pulg
Espesor de Corrosión	0,039 pulg
m	1,646

Tabla 7.10 Datos para Determinar Espesor de Cabezal Toriesferico.

Luego:

$$t = 1,814 \text{ (mm)}$$

$$t_{\text{Estandarizado}} = 2 \text{ (mm)}$$

3) Chaqueta de Vapor: La presión ejercida por el vapor toma gran importancia en esta etapa. Por un lado el espesor de pared de la carcasa del reactor debe ser recalculado ya que el vapor realiza una presión sobre la pared del estanque, es por esto que se determina un nuevo espesor, pero ahora regido por un diseño de presión externa. El segundo paso es determinar el espesor de pared de la chaqueta por medio de un diseño de presión interna provocada por la presión del vapor.

➤ **Revisión de Espesor de Carcasa:** Las ecuaciones a usar son las relaciones de diseño correspondientes a estanques sometidos a presión externa. Para esto se debe cumplir con:

$$P_{\text{Vapor}} \leq P_{\text{Admisible}}$$

Se tiene que:

$$P_{Ad} = \frac{B}{\frac{d_0}{t}} \quad \text{Ec. 7.15}$$

Donde:

P_{Ad} : Presión Admisible de diseño. ($lb_f/pulg^2$)

t: Espesor de Carcasa. (pulg)

d_0 : Diámetro Externo de Carcasa. (pulg)

B: Factor de forma, Grafico. (Ver Anexo D-iv.)

Espesor de Carcasa					
T_{Vapor} ($^{\circ}F$)	P_{Vapor} ($lb_f/pulg^2$)	l/d_0	d_0/t	B	P_{Ad} ($lb_f/pulg^2$)
245	27,01	2,27	139,65	4.500	32,22

Dado estos resultados se descarta el espesor obtenido por el análisis a presión interna, $t = 2$ mm, ya que éste no soporta la presión ejercida por el vapor. Por lo tanto el espesor definitivo de la carcasa es:

$$t_{Carcasa} = 14 \text{ (mm)}$$

- **Espesor de Chaqueta:** El espesor de la chaqueta de vapor resulta del diseño de estanque sometido a presión interna de la manera que sigue, el ancho de la chaqueta es de 1 pulgada:

Datos	
Presión de Operación	27,01 $lb_f/pulg^2$
Radio Interno Chaqueta	39,49 pulg
Esf. Max. Permisible	16.500 ($lb_f/pulg^2$)
Ef. de Soldadura	0,9
Espesor de Corrosión	0,039 pulg

Tabla 7.11 Datos para Determinar Espesor de la Chaqueta.

Luego el espesor de la chaqueta es:

$$t = 2,83 \text{ (mm)}$$

$$t_{Estandarizado} = 3 \text{ (mm)}$$

A continuación se muestra un cuadro resumen del estanque enchaquetado con agitación continua.

Resumen Característico del Estanque Reactor	
Volumen Total	13,51 m ³
Altura total	4,99 m
Diámetro Interno	1,93 m
Espesor	14 mm
Material (Acero Inoxidable)	AISI 304
Chaqueta de Vapor	
Ancho	1 pulg
Espesor	3 mm
Material (Acero Inoxidable)	AISI 304
Sistema de Agitación	
N° de Aspas	6
Diámetro de Agitador	1,16 m
Largo de Vástago	4,35 m
Potencia Requerida	7 HP
Material (Acero Inoxidable)	AISI 304
Aislación	
Ancho	1 pulg
Material	Lana Mineral

Tabla 7.12 Resumen Característico del Reactor.

Como ya se expuso la forma de calcular el diseño de estanque, y éste es análogo para el resto de los equipos que cumplen con funciones similares con o sin agitación, de almacenamiento o repulpadores. Para el diseño de los estanques posteriores, sólo se van a destacar las especificaciones propias del equipo y etapa, junto con los resultados logrados. Los criterios básicos de diseño se mantienen y no se aludirán nuevamente.

7.2.2 Almacenamiento

El almacenamiento, tiene por función principal retener cierto tiempo la mezcla procedente del filtro prensa para lograr la reducción de la temperatura, ya que la mezcla será derivada hacia un intercambiador, la reducción de la temperatura influye considerablemente en el tamaño y economía del equipo. Otra función que cumplen los almacenadores es que a partir de éstos el proceso pasa de Batch, a un proceso continuo.

A. Diseño Operativo de Estanque de Almacenamiento

a) Diseño de Estanque:

Datos	
Masa de la mezcla	47.597,78 ton
Densidad de la mezcla	1,03 ton/m ³
Tiempo de residencia de la mezcla	0,25 h
Sistema térmico	Adiabático
Presión	1 atm
Temperatura inicial	85 °C
Temperatura final	71,82 °C

Tabla 7.13 Datos para Diseño Operativo de Estanque de Almacenamiento.

1) Volumen Operativo:

Carga Diaria	135,75 m ³
N° Cargas Diarias por estanque	9
N° Estanques	2
Volumen Operativo por estanque	7,54 m ³
Volumen Real del Estanque	9,05 m ³

Tabla 7.14 Condiciones de Operación del Estanque.

Así se obtiene las dimensiones del equipo:

Dimensiones del Estanque	
α	1,5
D _E	1,97 m
H _E	2,96 m

Tabla 7.15 Dimensiones Calculadas para el Estanque.

Por diseño el estanque está cimentado en el suelo, por lo que el cabezal es una tapa plana de igual espesor que el que resulte para la carcasa, el estanque no necesita agitación debido al poco tiempo de residencia de la solución en cuestión.

B. Diseño Mecánico de Estanque de Almacenamiento

a) **Espesor de Carcasa:** En seguida se muestra una tabla con datos necesarios para obtener el espesor de diseño de la carcasa:

Datos Requeridos	
Presión de Operación	4,34 lb _f /pulg ²
Radio Interno de carcasa	38,84 pulg
Esf. Max. Permisible	16.500 lb _f /pulg ²
Ef. de Soldadura	0,9
Espesor de Corrosión	0,039 pulg

Tabla 7.16 Datos para Determinar Espesor de Carcasa.

Entonces:

$$t = 1,29 \text{ (mm)}$$

$$t_{\text{Estandarizado}} = 2 \text{ (mm)}$$

El espesor del cabezal plano es:

$$t_{\text{cabezal plano}} = 2 \text{ (mm)}$$

7.2.3 Precipitación

Aquí se produce la precipitación de la carragenina Kappa I, a través de un mezclador estático, en el que se mezclan la solución de Kappa I previamente enfriada proveniente de los acumuladores con una solución de cloruro de potasio.

A. Diseño Operativo de Estanque de Cloruro de Potasio (KCl 15% en peso).

El estanque de KCl debe estar provisto de un sistema de agitación para lograr una mezcla homogénea en todas sus áreas.

a) Diseño de Estanque

Datos	
Masa de la mezcla	8.144,70 ton
Densidad de la mezcla	1,18 ton/m ³
Sistema térmico	Adiabático
Presión	1 atm
Temperatura Mezcla	15 °C

Tabla 7.17 Datos para Diseño Operativo de Estanque de KCl.

1) Volumen Operativo:

Carga Diaria	20,36 m ³
N° Cargas Diarias por estanque	3
N° Estanques	1
Volumen Operativo por estanque	6,79 m ³
Volumen Real del Estanque	8,14 m ³

Tabla 7.18 Condiciones de Operación del Estanque de KCl.

Así se obtiene las dimensiones del equipo:

Dimensiones del Estanque	
α	1,6
D _E	1,86 m
H _E	2,98 m

Tabla 7.19 Dimensiones Calculadas para el Estanque de KCl.

b) Diseño de Sistema de Agitación: Para establecer las particularidades del sistema de agitación se tiene como datos y parámetros lo siguiente.

Datos y Parámetros	
Viscosidad de la Mezcla	0,0025 Pa*s
Densidad de la Mezcla	1,18 ton/m ³
Velocidad de Rotación	45 r.p.m.

Tabla 7.20 Datos para Diseño de Sistema de Agitación.

A partir de los datos entregados y los criterios de diseño se determina las dimensiones de cada parte del agitador.

Dimensiones del Agitador	
Diámetro del Agitador	1,12 m
Ancho de Aspas	0,12 m
Largo del Vástago	2,36 m
Diámetro del Impulsor	0,45 m

Tabla 7.21 Dimensiones del Agitador para el estanque de KCl.

Con los datos obtenidos se procede a determinar el número de Reynolds y a elegir el número y forma de las aspas a utilizar.

$$\mathbf{Reynolds = 441.687,41}$$

La potencia del motor se deduce usando el mismo modelo utilizado para el estanque enchaquetado.

Luego para un número de potencia, $N_p = 4$, se requiere de una potencia del motor:

$$\mathbf{P = 3.478,22 (Watt) = 4,66 (HP)}$$

$$\mathbf{P_{Estandarizado} = 5 HP}$$

B. Diseño Mecánico de Estanque de KCl

- a) **Espesor de Carcasa:** A continuación se muestran datos necesarios para obtener el espesor de diseño de la carcasa:

Datos Requeridos	
Presión de Operación	4,99 lb _f /pulg ²
Radio Interno de carcasa	36,70 pulg
Esf. Max. Permisible	18.750 lb _f /pulg ²
Ef. de Soldadura	0,9
Espesor de Corrosión	0,039 pulg

Tabla 7.22 Datos para Determinar Espesor de Carcasa.

Entonces:

$$t = 1,89 \text{ (mm)}$$

$$t_{\text{Estandarizado}} = 2 \text{ (mm)}$$

Al igual que en los estanques de acumulación, el estanque de KCl también esta basado en el suelo por lo que el cabezal elegido es uno plano y su espesor es equivalente al obtenido para la carcasa.

El espesor del cabezal plano es:

$$t_{\text{cabezal plano}} = 2 \text{ (mm)}$$

A continuación se muestra un cuadro resumen del estanque de KCl, con sistema de agitación.

Resumen Característico del Estanque de KCl	
Volumen Total	8,14 m ³
Altura total	2,98 m
Diámetro Interno	1,86 m
Espesor	2 mm
Material (Acero Inoxidable)	AISI 304
Sistema de Agitación	
Nº de Aspas	6
Diámetro de Agitador	1,12 m
Largo de Vástago	2,36 m

Potencia Requerida	5 HP
Material (Acero Inoxidable)	AISI 304

Tabla 7.23 Resumen Característico del estanque de Cloruro de Potasio.

A. Diseño Operativo del Mezclador Estático

Para determinar las dimensiones y velocidades de cada punto del mezclador se debe realizar un balance de energía al sistema. Por ley de conservación de la energía se tiene la siguiente ecuación:

$$U_2 + \frac{m_2 * V_2^2}{2 * g_C} + \frac{m_2 * g * Z}{g_C} + P_2 * V_2 = U_1 + \frac{m_1 * V_1^2}{2 * g_C} + \frac{m_1 * g * Z}{g_C} + P_1 * V_1 + q + w \quad Ec. 7.16$$

Ésta es la llamada *Ecuación de Flujo*, considerando una mezcla perfecta se asumen varios términos como cero o despreciables, como son la energía interna, calor y trabajo. Otro término que se hace cero es la altura estática debido a que la mezcla se realiza a un mismo nivel tomando como referencia el suelo.

La ecuación de flujo se reordena y se reemplaza la masa por un flujo másico, quedando de la siguiente forma:

$$\frac{F_2 * V_2^2}{2 * g_C} + \frac{P_2 * V_2}{\rho_2} = \frac{F_1 * V_1^2}{2 * g_C} + \frac{P_1 * V_1}{\rho_1} \quad Ec. 7.17$$

Donde:

F : Flujo másico, (Ton/h)

V : Velocidad del fluido, (m/s)

P : Presión del fluido, (Pa)

ρ : Densidad del fluido, (kg/m³)

g_C : Factor gravitacional de conversión.

El diseño mezclador cuenta con varias suposiciones de presiones y datos de velocidades recomendadas, los cuales son especificados en el Anexo C: Diseño de Equipos, apartado C.2.

El siguiente cuadro muestra los datos conocidos y supuestos con los que se determina la velocidad a la cual sale la solución precipitada. Con ella se calcula el número de Reynolds, el que debe ser mayor a 2.100 para lograr un flujo turbulento en la cañería lo que permite un mezclado idóneo.

Solución de Carragenina		Solución KCl (15% en peso)		Kappa I precipitada	
Q1	30,17 (m ³ /h)	Q2	4,52 (m ³ /h)	Q3	34,69 (m ³ /h)
ρ1	1,03 (ton/m ³)	ρ2	1,18 (ton/m ³)	ρ3	1,05 (ton/m ³)
μ1	242,00 (lb/pie*h)	μ2	2,50 (lb/pie*h)	μ3	210,76 (lb/pie*h)
F1	31,11 (ton/h)	F2	5,32 (ton/h)	F3	36,43 (ton/h)
P1	0,5 (atm)	P2	0,34 (atm)	P3	0,30 (atm)

Tabla 7.24 Datos para determinar velocidad de salida de producto.

Obteniendo las velocidades recomendadas (ver anexo para v1 y v2 antes señalado), se despeja la ecuación de flujo descrita anteriormente y se calcula v3.

Para:

$$V1 = 2,4 \text{ m/s (8 pie/s)}$$

$$V2 = 1,8 \text{ m/s (6 pie/s)}$$

Luego con los datos de tabla y las velocidades antes obtenidas se calcula la velocidad de salida del mezclador:

$$V3 = 20,78 \text{ pie/s}$$

Con la velocidad calculada se determina el número de Reynolds:

$$Re = \frac{D * V * \rho}{\mu} \quad \text{Ec. 7.18}$$

Donde:

Re: Numero de Reynolds

D: Diámetro Interno de la cañería

V: Velocidad del fluido

ρ: Densidad del fluido

μ: Viscosidad del fluido

El cálculo de los diámetros obedece a la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{V * \pi}} \quad Ec. 7.19$$

Donde:

D: Diámetro de la cañería

Q: Caudal del fluido

V: Velocidad del fluido

Conocido cada dato, se presenta a continuación un cuadro con los resultados para el mezclador estático.

Diámetros del Mezclador Estático	
D1	1,44 pulg
D2	1,16 pulg
D3	1,73 pulg
Re₃ = 3.360,64	

Tabla 7.25 Diseño de Mezclador Estático.

La única restricción de este equipo es que su Re a la salida debe ser mayor a 2.100 (Apuntes de Mecánica de Fluidos, José Torres T.), lo cual se cumple con creces, por esto se asume que los valores supuestos están dentro de las posibilidades de diseño.

Con el Re = 3.360,64 se asegura un flujo de carácter turbulento en el mezclador lo que implica y se traduce en una precipitación muy eficiente.

7.2.4 Repulpado

En esta etapa se mezcla la carragenina Kappa I precipitada con cloro comercial y KCl agotado (2% en peso).

A. Diseño Operativo de Estanque Repulpador

El estanque debe estar equipado con un sistema de agitación para lograr una mezcla homogénea en todas sus áreas y para que se produzca un blanqueado y desinfectado integral.

a) Diseño de Estanque

Datos	
Masa de la mezcla	23.399,09 ton
Densidad de la mezcla	1,10 ton/m ³
Sistema térmico	Adiabático
Presión	1 atm
Temperatura Mezcla	15 °C

Tabla 7.26 Datos para Diseño Operativo de Estanque Repulpador.

1) Volumen Operativo:

Volumen Operativo por carga	6,98 m ³
N° Estanques	1
Volumen Operativo por estanque	3,49 m ³
Volumen Real del Estanque	4,19 m ³

Tabla 7.27 Condiciones de Operación del Estanque Repulpador.

Así se obtiene las dimensiones del equipo:

Dimensiones del Estanque	
α	1,2
D _E	1,64 m
H _E	1,97 m

Tabla 7.28 Dimensiones Calculadas para el Estanque Repulpador.

b) **Diseño de Sistema de Agitación:** Para establecer las particularidades del sistema de agitación se tiene como datos y parámetros lo siguiente.

Datos y Parámetros	
Viscosidad de la Mezcla	0,02 Pa*s
Densidad de la Mezcla	1,10 ton/m ³
Velocidad de Rotación	45 r.p.m.

Tabla 7.29 Datos para Diseño de Sistema de Agitación.

A partir de los datos entregados y los criterios de diseño se determina las dimensiones de cada parte del agitador.

Dimensiones del Agitador	
Diámetro del Agitador	1,99 m
Ancho de Aspas	0,11 m
Largo del Vástago	1,42 m
Diámetro del Impulsor	0,39 m

Tabla 7.30 Dimensiones del Agitador para el estanque de KCl.

Con los datos obtenidos se procede a determinar el número de Reynolds y a elegir el número y forma de las aspas a utilizar.

$$\mathbf{Reynolds = 39.981,37}$$

La potencia del motor se deduce usando el mismo modelo utilizado para el estanque enchaquetado.

Luego para un número de potencia, $N_p = 5$, se requiere de una potencia del motor:

$$\mathbf{P = 2.157,42 (Watt) = 2,89 (HP)}$$

$$\mathbf{P_{Estandarizado} = 3 HP}$$

B. Diseño Mecánico del Estanque Repulpador

- a) **Espesor de Carcasa:** A continuación se muestran datos necesarios para obtener el espesor de diseño de la carcasa:

Datos Requeridos	
Presión de Operación	3,08 lb _f /pulg ²
Radio Interno de carcasa	32,36 pulg
Esf. Max. Permisible	18.750 lb _f /pulg ²
Ef. de Soldadura	0,9
Espesor de Corrosión	0,039 pulg

Tabla 7.31 Datos para Determinar Espesor de Carcasa.

Entonces:

$$t = 1,15 \text{ mm}$$

$$t_{\text{Estandarizado}} = 2 \text{ mm}$$

- b) **Espesor de Cabezal Toriesferico:** Al igual que la carcasa el cabezal queda sujeto a presión interna, con lo cual el espesor está definido de acuerdo a las ecuaciones mostradas para el reactor en la etapa de extracción:

Al igual que para los estanques de extracción, el estanque repulpador necesita un cabezal toriesferico para expulsar de forma eficiente el producto de su interior.

Datos y Relaciones Descritas	
Presión de Operación	3,08 lb _f /pulg ²
Esf. Max. Permisible	18.750 lb _f /pulg ²
Ef. de Soldadura	0,9
Radio de Curvatura	5,91 pulg
Diámetro Interno	64,71 pulg
Espesor de Corrosión	0,039 pulg
m	1,58

Tabla 7.32 Datos para Determinar Espesor de Cabezal Toriesferico.

Luego:

$$t = 1,24 \text{ (mm)}$$

$$t_{\text{Estandarizado}} = 2 \text{ (mm)}$$

A continuación se muestra un cuadro resumen del estanque repulpador, con sistema de agitación.

Resumen Característico del Estanque de KCl	
Volumen Total	4,19 m ³
Altura total	1,97 m
Diámetro Interno	1,64 m
Espesor	2 mm
Material (Acero Inoxidable)	AISI 304
Sistema de Agitación	
N° de Aspas	6
Diámetro de Agitador	0,99 m
Largo de Vástago	1,42 m
Potencia Requerida	3 HP
Material (Acero Inoxidable)	AISI 304

Tabla 7.33 Resumen Característico del estanque Repulpador.

A. Diseño Operativo de Estanque de Cloruro de Potasio Agotado

a) Diseño de Estanque para KCl (2% en peso):

Datos	
Masa de la mezcla	119,10 ton
Densidad de la mezcla	1,02 ton/m ³
Sistema térmico	Adiabático
Presión	1 atm
Temperatura	15 °C

Tabla 7.34 Datos para Diseño Operativo de Estanque KCl agotado.

1) Volumen Operativo:

Carga Mensual	9,73 m ³
N° Cargas por mes	2
N° Estanques	1
Volumen Operativo por estanque	4,87 m ³
Volumen Real del Estanque	5,84 m ³

Tabla 7.35 Condiciones de Operación del Estanque.

Las dimensiones del equipo son:

Dimensiones del Estanque	
α	1,4
D _E	1,74 m
H _E	2,44 m

Tabla 7.36 Dimensiones Calculadas para el Estanque.

B. Diseño Mecánico de Estanque de KCl agotado

Al igual que los estanques de acumulación y de KCl al 15% el cabezal elegido es uno plano y su espesor es idéntico al espesor de la carcasa.

- a) **Espesor de Carcasa:** En seguida se muestra una tabla con datos necesarios para obtener el espesor de diseño de la carcasa:

Datos Requeridos	
Presión de Operación	3,54 lb _f /pulg ²
Radio Interno de carcasa	34,34 pulg
Esf. Max. Permisible	18.750 lb _f /pulg ²
Ef. de Soldadura	0,9
Espesor de Corrosión	0,039 pulg

Tabla 7.37 Datos para Determinar Espesor de Carcasa.

Entonces:

$$t = 1,18 \text{ mm}$$

$$t_{\text{Estandarizado}} = 2 \text{ mm}$$

El espesor del cabezal plano es:

$$t_{\text{cabezal plano}} = 2 \text{ mm}$$

A. Diseño Operativo de Estanque de Hipoclorito de Sodio

a) Diseño de Estanque para Cloro Comercial:

Datos	
Masa de la mezcla	25,68 ton
Densidad de la mezcla	1,12 ton/m ³
Sistema térmico	Adiabático
Presión	1 atm
Temperatura	15 °C

Tabla 7.38 Datos para Diseño Operativo de Estanque de Cloro Comercial.

1) Volumen Operativo:

Carga Semestral	11,46 m ³
N° Cargas por semestre	2
N° Estanques	1
Volumen Operativo por estanque	5,73 m ³
Volumen Real del Estanque	6,88 m ³

Tabla 7.39 Condiciones de Operación del Estanque.

Las dimensiones del equipo son:

Dimensiones del Estanque	
α	1,4
D _E	1,84 m
H _E	2,58 m

Tabla 7.40 Dimensiones Calculadas para el Estanque.

B. Diseño Mecánico de Estanque de Cloro Comercial

Al igual que los estanques de acumulación y de KCl el cabezal elegido es uno plano y su espesor es idéntico al espesor de la carcasa.

a) Espesor de Carcasa:

En seguida se muestra una tabla con datos necesarios para obtener el espesor de diseño de la carcasa:

Datos Requeridos	
Presión de Operación	4,11 lb _f /pulg ²
Radio Interno de carcasa	36,27 pulg
Esf. Max. Permisible	18.750 lb _f /pulg ²
Ef. de Soldadura	0,9
Espesor de Corrosión	0,039 pulg

Tabla 7.41 Datos para Determinar Espesor de Carcasa.

Entonces:

$$t = 1,22 \text{ mm}$$

$$t_{\text{Estandarizado}} = 2 \text{ mm}$$

El espesor del cabezal plano es:

$$t_{\text{cabezal plano}} = 2 \text{ mm}$$

7.2.5 Secado

El secador a utilizar para esta etapa es uno de contacto directo del gas caliente con el sólido a tratar.

A. Diseño Operativo del Secador

a) Diseño del Secador:

Datos	
Masa de la mezcla	2.180,67 ton
Densidad de la mezcla	1,30 ton/m ³
Sistema térmico	Adiabático
Presión	1 atm
Temperatura	20 °C

Tabla 7.42 Datos para Diseño Operativo del Secador.

1) Volumen Operativo:

Carga diaria	6.413,74 kg
N° Cargas por día	18
N° Secadores	1
Carga del secador	352,32 kg

Tabla 7.43 Condiciones de Operación del Secador.

Luego para obtener las dimensiones específicas del secador se necesitan los siguientes datos:

Tr: Tiempo de residencia del Producto

b: Espesor del lecho del producto

$$Tr = 1 h$$

$$b = 3 cm$$

Luego se obtiene el Volumen del lecho de Kappa I, con la siguiente relación:

$$V = \frac{Cs}{\rho} = L * b * a \quad Ec. 7.20$$

Donde:

V : Volumen del lecho de producto, (m^3)

C_s : Carga del Secador, (kg)

ρ : Densidad del producto, (kg/m^3)

L : Largo del Secador, (m)

a : Ancho del Secador, (m)

$$V = 0,27 m^3$$

Para un largo de secador:

$$L = 7 m$$

De la ecuación de volumen de lecho se desprende el ancho del secador:

$$a = 1,3 m$$

En resumen:

Dimensiones del Secador	
Largo	7 m
Ancho	1,3 m
Área	9,14 m^2

Tabla 7.44 Dimensionamiento del Secador.

7.2.6 Intercambiador de Calor

El intercambiador de calor se utiliza como se explicó antes para bajar la temperatura de la mezcla de carragenina kappa I.

Se procede a continuación con el diseño operativo de un intercambiador del tipo tubo y carcasa (contracorriente). Todos los cálculos están desarrollados de forma explícita en el Anexo C: diseño de Equipos, apartado C.4.

A. Diseño Operativo Intercambiador de Calor Contracorriente

a) Calculo de Calor Cedido y Flujo de agua necesario

Solución de Carragenina	
Fv	30,17 m ³ /h
T1	71,82 °C
T2	45 °C
Cp	1,00 Kcal/kg*°C
ρ	1,03 ton/m ³
*U	87,5 Btu/pie ² *h*°F

Tabla 7.45 Datos de Solución de Carragenina Kappa I.

**Tabla N°8, Apéndice Donald Q. Kern*

$$Q = Fm * cp * \Delta t \quad \text{Ec. 7.21}$$

Donde:

Q : Calor Transferido al agua por la solución, Kcal/h

$T1, T2$: Temperaturas de entrada y salida de la solución, °C

Cp : Capacidad Calorífica de la solución, Kcal/Kg*°C

ρ : Densidad de la solución, ton/m³

Con los datos entregados se obtiene el calor transferido:

$$Q = 834.426,64 \text{ Kcal/h}$$

Luego utilizando la misma ecuación y el calor transferido obtenido se calcula el flujo de agua necesario para lograr que la mezcla de carragenina reduzca su temperatura.

Donde:

$$t1 = 15 \text{ °C y } t2 = 25 \text{ °C}$$

$t1$: Temperatura entrada agua de río, °C

$t2$: Temperatura de salida agua de río, °C

$$\text{Flujo volumétrico} = 83,44 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Flujo másico} = 83,44 \text{ ton/h}$$

b) Cálculo de Área de Transferencia

Es necesario obtener para el cálculo del área la media logarítmica de la diferencia de temperatura (ΔT_{lmtd}). Se tiene que:

$$\Delta T_{lmtd} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln\left(\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}\right)} \quad \text{Ec. 7.22}$$

Donde:

$$\Delta t_1 = T_2 - t_1$$

$$\Delta t_2 = T_1 - t_2$$

$$\Delta T_{lmtd} = 37,79 \text{ } ^\circ\text{C} = 68,02 \text{ } ^\circ\text{F}$$

A Continuación se obtiene el área de transferencia con la siguiente relación:

$$Q = U * A * \Delta T_{lmtd} \quad \text{Ec. 7.23}$$

Donde:

A: Área de Transferencia del Intercambiador de Calor, pie^2

U: Coeficiente Total de Transferencia de Calor, $\text{Btu}/\text{pie}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{F}$

$$A = 555,98 \text{ } \text{pie}^2 = 51,65 \text{ } \text{m}^2$$

c) Diseño del Intercambiador

i. Área Verdadera de Transferencia

$$Q = U * A * \Delta T \quad \text{Ec. 7.24}$$

Donde

ΔT : Diferencia Verdadera de Temperatura

$$A = 567,32 \text{ } \text{pie}^2 = 52,70 \text{ } \text{m}^2$$

ii. *Cálculo del Número de Tubos*

$$Nt = \frac{A}{L * a'} \quad \text{Ec. 7.25}$$

Donde

Nt : Numero de Tubos

L : Largo de los Tubos

a' : Superficie por pie lineal

$$Nt = 146,81$$

$$Nt \text{ estandarizado} = 147$$

iii. *Coeficiente de transferencia de calor referido al diámetro exterior, h_{io}*

$$h_{io} = \frac{h_i * D_i}{D_o} \quad \text{Ec. 7.26}$$

Donde

h_i : Coeficiente de transferencia de calor referido al diámetro interno

D_i, D_o : Diámetro interno y externo de los tubos respectivamente

$$h_{io} = 956,27 \text{ Btu/h*pie}^2*\text{°F}$$

iv. *Coeficiente de transferencia de calor flujo exterior, h_o*

$$h_o = 506,29 \text{ Btu/h*pie}^2*\text{°F}$$

v. *Coeficiente total de transferencia de calor limpio, U_c*

$$U_c = \frac{h_{io} * h_o}{h_{io} + h_o} \quad \text{Ec. 7.27}$$

$$U_c = 331,03 \text{ Btu/h*pie}^2*\text{°F}$$

vi. **Area Real**

$$A_{REAL} = Nt * L * a' \quad \text{Ec. 7.28}$$

$$A_{REAL} = 568,06 \text{ pie}^2 = 52,77 \text{ m}^2$$

vii. **Coficiente total de transferencia de calor de diseño, Ud**

$$U_d = \frac{Q}{A_{REAL} * \Delta T} \quad \text{Ec. 7.29}$$

$$U_d = 87,39 \text{ Btu/h*pie}^2*\text{°F}$$

viii. **Factor de Obstrucción, Rd**

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c * U_d} \quad \text{Ec. 7.30}$$

$$R_d = 0,008 \text{ h*pie}^2*\text{°F/Btu}$$

Sumario Intercambiador		
506,29	<i>h exterior</i>	556,27
<i>Uc</i>	331,03	
<i>Ud</i>	87,39	
<i>Rd calculado</i>	0,008	
<i>Rd requerido</i>	0,003	
Caídas de Presión		
ΔP tubos	6,41 (lbf/pulg ²)	0,44 (atm)
ΔP carcasa	10,36 (lbf/pulg ²)	0,71 (atm)

Tabla 7.46 Resumen Característico del Intercambiador de Calor a Contracorriente.

7.3 EQUIPOS AUXILIARES

7.3.1 Filtro Prensa

El filtro prensa es la operación unitaria de deshidratación más sencilla, de bajo costo energético y de alta eficiencia de compactación. Es por esto que se opta por usarla en el proceso que sigue a la disolución. Genera un líquido de salida completamente clarificado sin sólidos en suspensión. Como características esenciales posee un mantenimiento extremadamente bajo en requerimientos, no necesita de retrolavados y todas las partes en contacto con el líquido son de polipropileno, lo que brinda una alta resistencia a la corrosión.

Se necesita conocer el área de filtración del equipo, y sobredimensionarlo en un 20% para así realizar las cotizaciones respectivas y determinar su costo final.

Se tiene:

$$A = \left(\frac{R * V^2 * C * \mu}{2 * \Delta P * t_f} \right)^{0.5} \quad \text{Ec. 7.31}$$

$$R = 0,5 * \alpha \quad \text{Ec. 7.32}$$

$$\alpha = 1.32 * 10^5 * (-1.06 pH^2 + 10.19 * pH - 3.46) * \Delta P^{0.756} \quad \text{Ec. 7.33}$$

Donde:

A: Área total de filtración, m²

V: Volumen a filtrar, m³

t_f: Tiempo de filtración, s

μ: Viscosidad de la mezcla, Kg/m*s

α:

Resistencia específica de la torta, m/kg

R:

Resistencia específica del medio filtrante, 1/m

C: Masa de torta (sólidos secos), por volumen de filtrado, kg/m³

ΔP: Caída de presión, N/m²

A continuación se muestra una tabla con datos necesitados para realizar los cálculos de área de filtración.

Datos de Filtrado	
Volumen a Filtrar	10,77 m ³
Tiempo de Filtrado	0,5 h
Masa de Sólidos (C)	173,68 kg/m ³
pH solución	8,5
ΔP	6 atm

Tabla 7.47 Datos para determinar Área del filtro Prensa.

Ahora con los datos y relaciones se obtiene el área del filtro:

$$A = 97,05 \text{ m}^2$$

$$A_T = 116 \text{ m}^2$$

7.3.2 Caldera

La utilización de la caldera responderá a los requerimientos necesarios para que el estanque agitado con chaqueta de vapor opere de forma eficiente. El calor total que debe entregar esta caldera es el resultado del consumo de vapor del equipo antes mencionado.

$$Q_T = S * \lambda_{118,4^\circ\text{C}} \quad \text{Ec. 7.34}$$

Donde:

Q_T: Calor Total

S: Consumo de Vapor por Carga

λ_{118,4°C}: Entalpía de Vaporización

El consumo de vapor del estanque de extracción es:

$$\lambda_{118,4^\circ\text{C}} = 527,69 \text{ Kcal/kg}$$

$$S = 1644,51 \text{ kg/Carga} \Rightarrow 1737,83 \text{ m}^3/\text{Carga}$$

En teoría las calderas industriales no superan el 50 % de rendimiento y considerando el sobredimensionamiento se obtiene un consumo de vapor final:

$$\text{Consumo Total de Vapor} = 3.946,82 \text{ kg/Carga}$$

Por lo tanto el calor total que debe entregar la caldera es:

$$Q_T = 2.082.688,16 \text{ Kcal/Carga} = 8.264.775,17 \text{ Btu/Carga}$$

Ahora con el calor determinado se estima el consumo total de combustible (petróleo diesel) que precisa la caldera, considerando que el poder calorífico del diesel es:

$$\text{Poder Calorífico del Petróleo Diesel} = 140.344,79 \text{ Btu/gal}$$

Entonces el consumo de combustible es:

$$\text{Consumo de Diesel} = 58,89 \text{ gal/carga}$$

Este dato es de gran importancia a la hora de realizar la evaluación económica.

7.3.3 Bombas

Todos los cálculos relacionados con la estimación de potencias de las bombas de proceso, como son las velocidades tanto de succión, descargas, largos equivalentes y otros son valores promedios, en caso de no ser así, se especifica la bomba que no cumpla con lo anterior. El detalle de los cálculos de potencia de las bombas se muestra en el anexo C, numeral C.6.

Características de las Bombas de Proceso					
Bomba	Vol (m ³)	Caudal (pie ³ /s)	(-w) (lbf*pie/lbm)	P (HP)	P estad.
B1,B2	10,77	0,42	7,04	0,60	1
B3	7,24	0,28	9,05	0,50	1
B4,B5	7,54	0,30	8,90	0,51	1
B6	83,44	0,82	55,00	8,52	8
B7	6,79	0,40	6,97	0,62	1
B8	34,69	0,82	12,06	1,96	2

Tabla 7.48 Potencia de Bombas de Proceso.

7.3.4 Molino

Los molinos de martillos pueden ser barras rectas de metal con los extremos planos o alargados, o bien afilados para formar un borde cortante. En molinos de martillos para una molienda fina, la velocidad periférica de los extremos de los martillos puede llegar a ser de 112 m/s, y tratan desde 0,1 a 15 ton/h, logrando tamaños de partículas más finos que malla 200 (#200; 0,08 mm Nch; 0,074 mm real). Los molinos de martillos pueden tratar casi cualquier producto. Para obtener una molienda fina están limitados a los materiales más blandos, como lo es la carragenina.

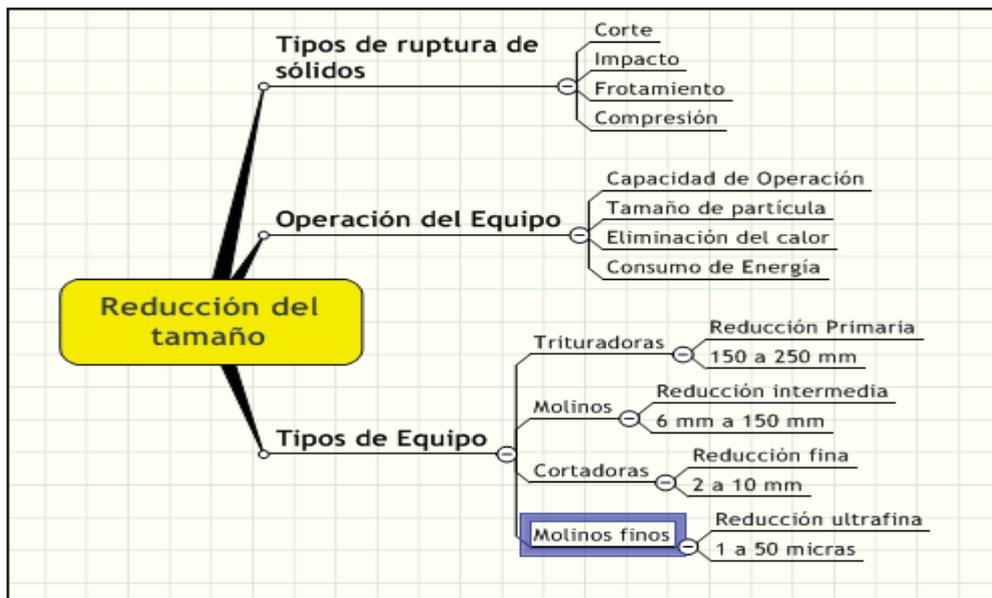


Figura 7.1 Reducción de Tamaño.

Características:

- Reducen de 60 a 240 kg del sólido por kilowatt-hora de energía consumida.
- Estas maquinas reducen desde 0,11 a 15 toneladas/h a tamaños más finos que mallas 200.
- Opera todo el día y 340 días al año. Los datos de la molienda para optar al molino más eficiente se entregan en la tabla que sigue:

Datos de Molienda	
Densidad	0,57-0,60 gr/cm ³
Carga Diaria	4,58 ton/día
Turnos	3
Tamaño Partícula Entrada	#60 o superior
Tamaño Partícula Salida	Entre #100 y #200

Tabla 7.49 Datos Material Carragenina a Procesar por Molino.

7.4 CUADRO RESUMEN CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE EQUIPOS

ESPECIFICACIONES GENERALES DE EQUIPOS		
ETAPA	EQUIPO	CARACTERÍSTICAS
PROCESOS VARIOS: USOS DE ESTANQUES (TK)	<u>Tk-Extracción</u>	<ul style="list-style-type: none"> • 2 Tks • Diámetro = 1,93 m • Altura = 4,43 m • Volumen = 12,9 m³
	<u>Tk-Almacenamiento</u>	<ul style="list-style-type: none"> • 2 Tks • Diámetro = 1,97 m • Altura = 2,96 m • Volumen = 9,0 m³
	<u>Tk-KCl 15% p/p</u>	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Tk • Diámetro = 1,86 m • Altura = 2,98 m • Volumen = 8,0 m³
	<u>Tk-Repulpador</u>	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Tk • Diámetro = 1,64 m • Altura = 1,97 m • Volumen = 4,2 m³
	<u>Tk-Cloro Comercial</u>	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Tk • Diámetro = 1,84 m • Altura = 2,58 m • Volumen = 6,9 m³
SECADOO	<u>Tren de Secado</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo Residencias = 1 h • Largo = 7 m • Ancho = 1,3 m • Área = 9,1 m²
INTERCAMBIO DE CALOR	<u>Tubo-Carcasa</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Calor Transferido = 834.426,64 Kcal/h • Área de Transferencia = 51,65 m² • N° de Tubos = 147 • Largo Tubos = 6 m
SEPARACIÓN	<u>Filtro Prensa</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Área Filtración = 116 m² • Tiempo Residencia = 0,5 h • pH = 8,5 • ΔP = 6 bar
GENERACIÓN DE VAPOR	<u>Caldera</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo de Vapor = 3.946,82 kg/Carga • Calor Total = 2.082.688,16 Kcal/Carga • Consumo Diesel = 58,89 gal/carga

Tabla 7.50 Datos Resumen Características de Equipos Principales.

8 CAPÍTULO

ORGANIZACIÓN, PLANIFICACIÓN Y LAYOUT-PROYECTO

TABLA DE CONTENIDOS

8.1	ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA.....	141
8.2	PRODUCCIÓN DIARIA - TIEMPO PROYECTADO.....	143
8.3	LAYOUT DE PROCESO DISPOSICIÓN DE EQUIPOS Y LAYOUT GENERAL PLANTA.....	144

8.1 ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA

El proyecto de producción de carragenina está pensado para operar los 365 días del año, en tres turnos por día, cada uno contempla una duración de 8 horas.

La dotación de personal de cada turno en cuanto a la operación está constituida por:

- Jefe de Turno : 1 Persona.
- Operarios : 5 Personas.

Por ello la fuerza laboral completa asociada a la operación de la planta es de 18 personas.

En cuanto a la dotación del personal administrativo, ésta es como sigue:

- Gerente : 1 Persona.
- Ingeniero de Planta : 1 Persona.
- Laboratorista : 1 Persona.
- Finanzas : 1 Persona.
- Recursos Humanos : 1 Persona.
- Técnico : 3 Personas.
- Secretaria : 2 Personas.
- Porteros-Guardias : 3 Personas.
- Junior-Ayudante : 1 Persona.

A continuación se presenta el organigrama de la empresa, figura 8.1:

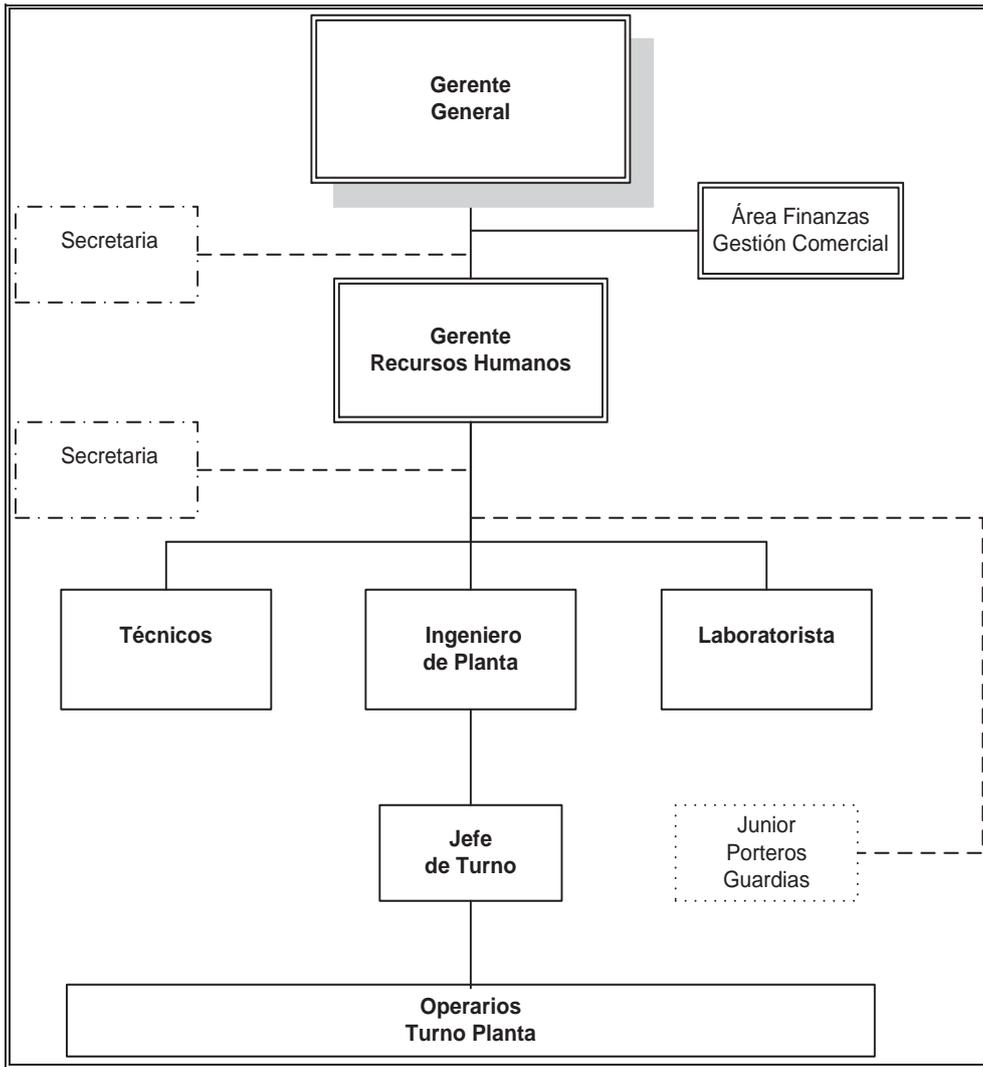


Figura 8.1 Organigrama Empresa.

8.2 PRODUCCIÓN DIARIA - TIEMPO PROYECTADO

Como se ha explicado antes, se requiere de tres turnos para producir las 1.000 toneladas año de producto, para ello se requiere un funcionamiento que no tarde más de 8 horas en procesar un estanque de disolución.

A continuación se presenta un cronograma por etapa de la producción, basado en un turno, desde la etapa de extracción hasta el producto final, figura 8.2:

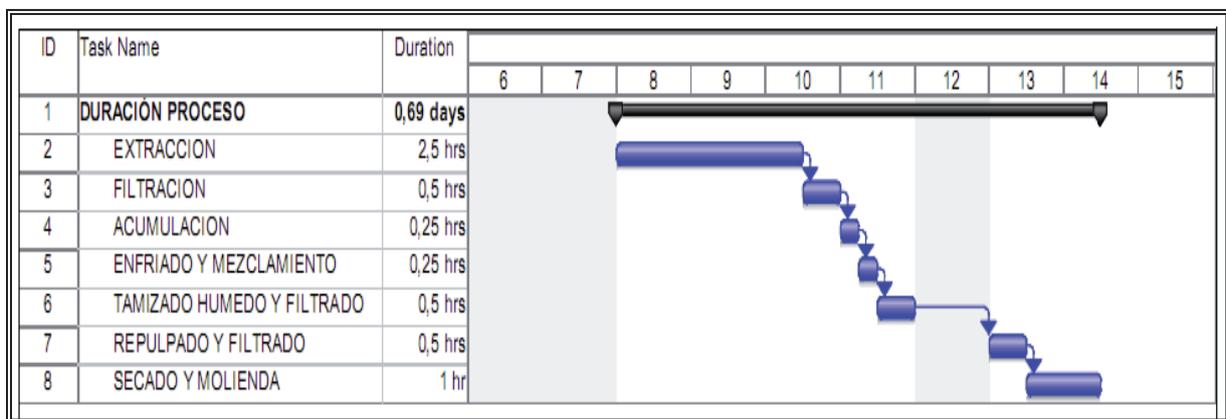


Figura 8.2 Tiempo de Operación por Etapa.

8.3 LAYOUT DE PROCESO DISPOSICIÓN DE EQUIPOS Y LAYOUT GENERAL PLANTA

A continuación en las figuras 8.3 y 8.4, se presenta la disposición de equipos en la zona correspondiente al proceso de producción y además se presenta el layout de la planta general.

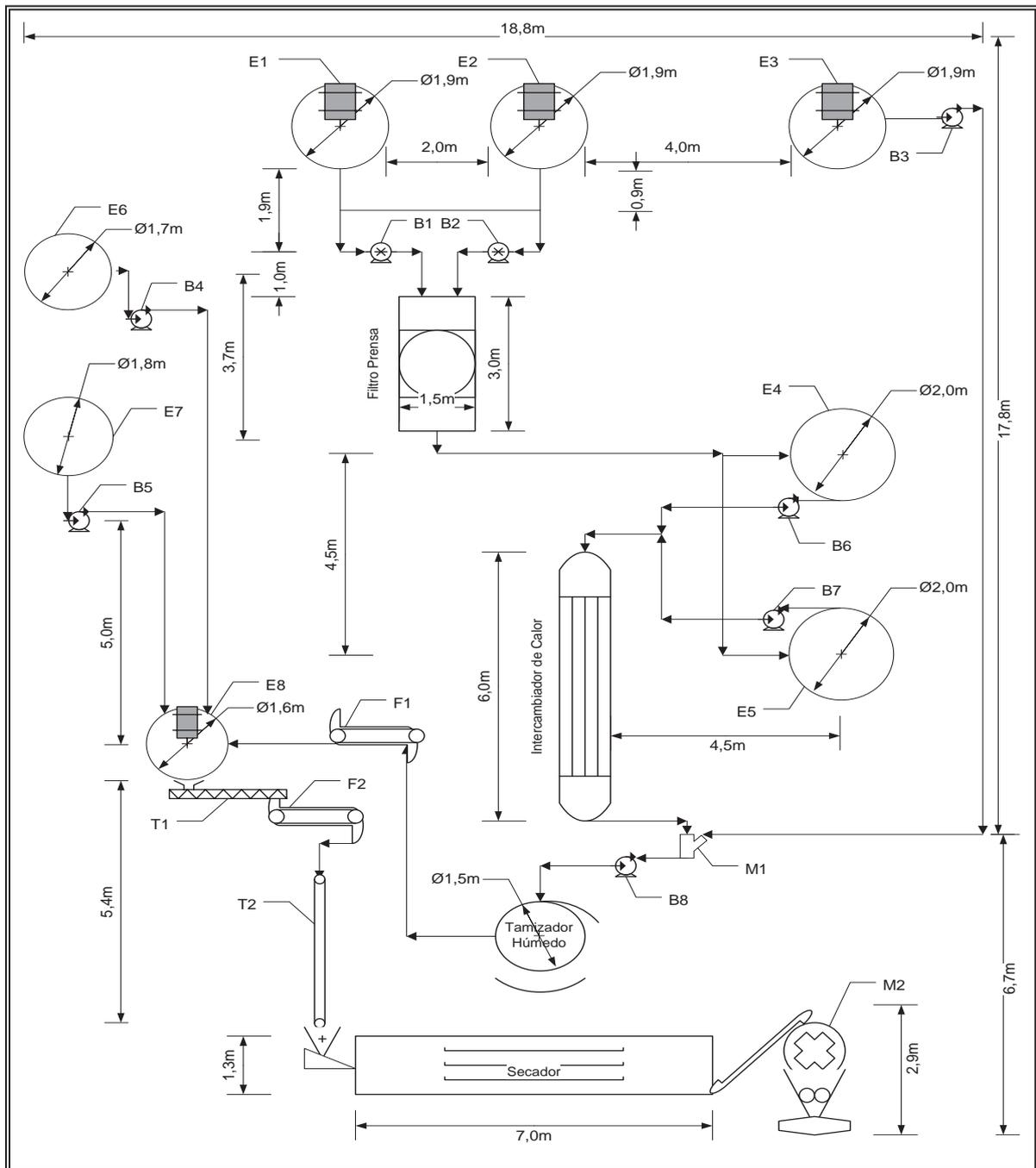


Figura 8.3 Layout-Disposición Equipos: Área de Producción de Carragenina Kappa I.

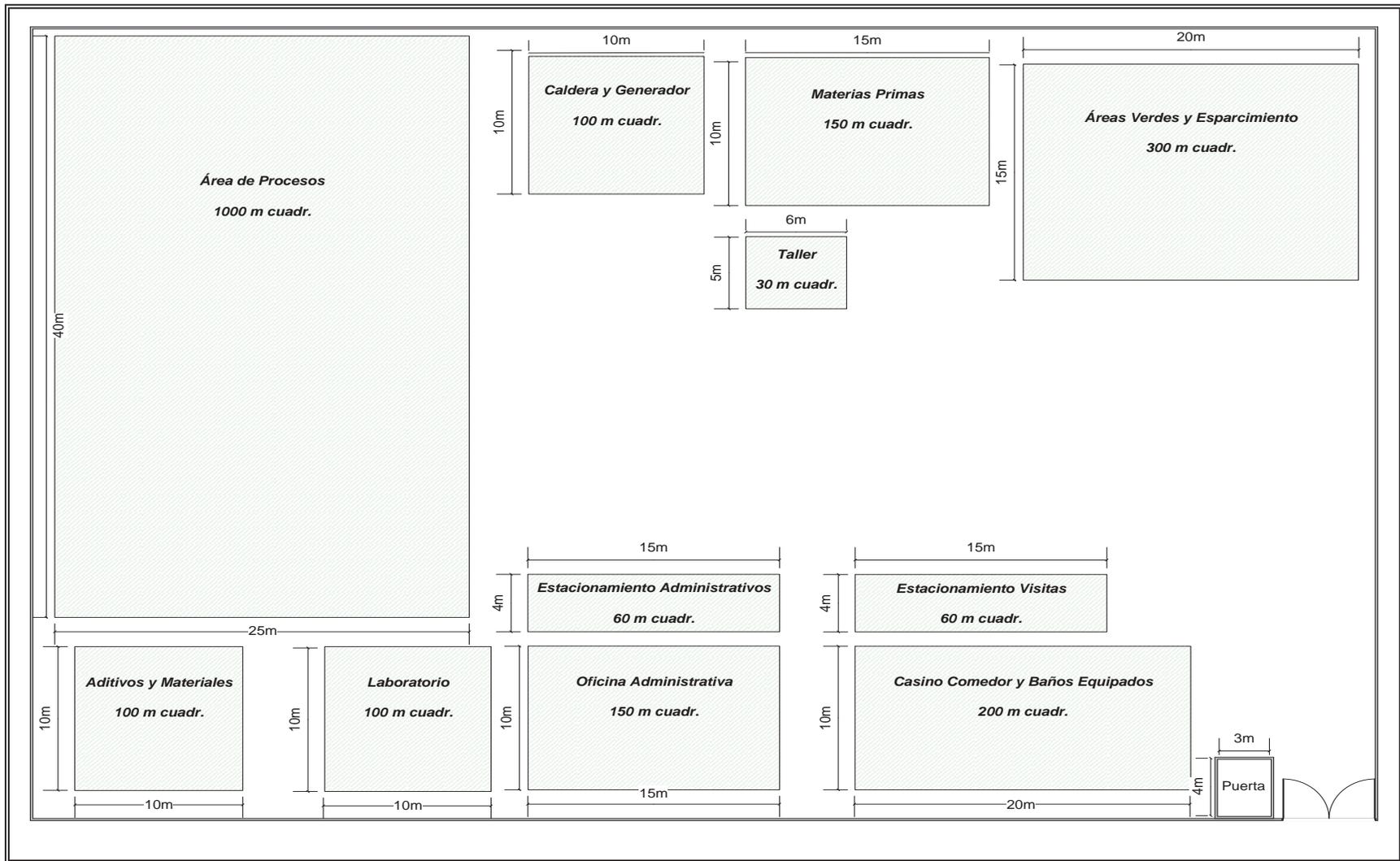


Figura 8.4 Layout-General: Planta de Producción de Carragenina Kappa I

9 CAPÍTULO

EVALUACIÓN ECONÓMICA

TABLA DE CONTENIDOS

9.1	INTRODUCCIÓN	147
9.2	INVERSIÓN TOTAL	149
9.3	BENEFICIO ANUAL	153
9.4	INGRESOS TOTALES POR VENTAS	157
9.5	DESARROLLO DEL FLUJO DE CAJA	158
9.6	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	161

9.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo tiene como objetivo fundamental la elaboración y evaluación de estudios de factibilidad económica, para lo cual se desarrolla un grupo de etapas de clasificación, estimación y procesamiento de datos para poder entregar resultados eficientes y eficaces, además de obtener toda la información necesaria para realizar los análisis de sensibilidades óptimos.

Es necesario tener en cuenta que las inversiones de hoy en día se diferencian por su magnitud, naturaleza, tipo de obra, entre otras características, son estos elementos los que en ocasiones imposibilitan la realización de un cronograma que satisfaga completamente los disímiles casos particulares que pueden existir.

Los caminos a seguir para esta evaluación económica son como base: Estimación de costos (directos, indirectos, producto, mano de obra, etc.). Ingresos por Ventas y Capital de Trabajo.

9.1.1 Evaluación Económica Financiera

Lo principal de la evaluación económica financiera es evaluar la inversión a partir de criterios cuantitativos y cualitativos de evaluación de proyectos, entre los criterios más mencionados encontraremos a los que representan la toma de decisiones de la inversión, es decir el Valor Actual Neto (V.A.N) y Tasa Interna de Retorno (T.I.R.), teniendo en cuenta en estos criterios el valor del dinero en el tiempo, el índice a tener en cuenta en esta etapa es: Razón Costo / Beneficio o Índice de Rentabilidad.

Definiciones:

- **El Valor Actual Neto. (V.A.N.):** Conocido bajo distintos nombres, es uno de los métodos más aceptados. Por Valor Actual Neto de una inversión se entiende la suma de los valores actualizados de todos los flujos netos de caja esperados del proyecto, deducido el valor de la inversión inicial. Si un proyecto de inversión tiene un V.A.N. positivo, el proyecto es rentable. Entre dos o más proyectos, el más rentable es el que tenga un V.A.N. más alto. Un V.A.N. nulo significa que la rentabilidad del proyecto es la misma que colocar los fondos en

él, invertidos en el mercado con un interés equivalente a la tasa de descuento utilizada. La única dificultad para hallar el V.A.N. consiste en fijar el valor para la tasa de interés, existiendo diferentes alternativas.

La primordial ventaja de este método es que al homogeneizar los flujos netos de Caja a un mismo momento de tiempo ($t=0$), reduce a una unidad de medida común cantidades de dinero generadas (o aportadas) en momentos de tiempo diferentes. Además, admite introducir en los cálculos flujos de signo positivos y negativos (entradas y salidas) en los diferentes momentos del horizonte temporal de la inversión, sin que por ello se distorsione el significado del resultado final, como puede suceder con la T.I.R.

Dado que el V.A.N. depende muy directamente de la tasa de actualización, el punto débil de este método es la tasa utilizada para descontar el dinero (siempre discutible). Sin embargo, para efectos de homogeneización, la tasa de interés elegida hará su función indistintamente de cual haya sido el criterio para fijarla.

- o **Tasa Interna de Retorno (T.I.R.):** Se denomina Tasa Interna de Retorno (T.I.R.) a la tasa de descuento que hace que el Valor Actual Neto (V.A.N.) de una inversión sea igual a cero. ($V.A.N. = 0$).

Este método considera que una inversión es aconsejable si la T.I.R. resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor, y entre varias alternativas, la más conveniente será aquella que ofrezca una T.I.R. mayor. Las críticas a este método parten en primer lugar de la dificultad del cálculo de la T.I.R. (haciéndose generalmente por iteración), aunque las hojas de cálculo y las calculadoras científicas han venido a solucionar este problema de forma fácil. También puede calcularse de forma relativamente sencilla por el método de interpolación lineal. Pero la más importante crítica del método (y principal defecto) es la inconsistencia matemática de la T.I.R. cuando en un proyecto de inversión hay que efectuar otros desembolsos, además de la inversión inicial, durante la vida útil del mismo, ya sea debido a pérdidas del proyecto, o a nuevas inversiones adicionales.

La T.I.R. es un indicador de *rentabilidad relativa del proyecto*, por lo cual, cuando se hace una comparación de tasas de rentabilidad interna de dos proyectos no tiene en cuenta la posible diferencia en las dimensiones de los mismos. Una gran inversión con una T.I.R. baja puede tener un V.A.N. superior a un proyecto con una inversión pequeña con una T.I.R. elevada.

$$V.A.N. = \sum_{p=1}^n \left[\frac{I_p - E_p}{(1+i)^p} \right] - I_0$$

$$T.I.R. \Rightarrow 0 = \sum_{p=1}^n \left[\frac{I_p - E_p}{(1+i)^p} \right] - I_0$$

Donde:

I_p : Ingresos en periodo p

I_0 : Inversión inicial

E_p : Egresos en periodo p

i : Tasa interés

9.2 INVERSIÓN TOTAL

9.2.1 Capital Fijo

Tiene relación con las inversiones que se deben realizar para obtener el terreno, equipos y la instalación de estos. Se define como:

$$\textit{Capital Fijo} = \textit{Costos Directo} + \textit{Costos Indirectos}$$

- **Costos Directos:**

- 1) **Costo de Equipos:** Constituye la inversión realizada en la adquisición de la totalidad de los equipos que forman parte de la línea de proceso, entendiéndose por totalidad de equipos tanto los principales como también los equipos auxiliares.

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
ESTANQUE	8	12.000	75.166
FILTRO PRENSA	1	140.000	140.000
FILTRO TELAS	2	8.000	16.000
TAMIZ	2	6.000	12.000
INTER	1	35.000	35.000
SECADOR	1	78.000	78.000
CALDERA	1	15.000	15.000
MOLINO	1	30.000	30.000
BOMBA	8	1.800	14.400
			<i>USD 415.566</i>

- 2) **Instalaciones:** Tiene como fundamentos los costos de montaje de equipos, pintura, aislamiento, plataformas, etc. La estimación del costo de este punto varía entre un 25 a 55% del Costo de Equipos. Se estable un índice igual al 25%.

$$\text{COSTO INSTALACIONES} = \text{USD } 103.892$$

- 3) **Instrumentación y Control:** Se estima el rango entre 8 a 50% del Costo de Equipos. Se estable un índice igual al 25%.

$$\text{COSTOS CONTROL} = \text{USD } 103.892$$

- 4) **Cañerías Instaladas:** Incluye el costo que resulta de la instalación de cada tramo de cañería del proceso, considerando las uniones, codos, reducciones y fittings en general. El rango que se le atribuye a este punto es de un 10 a 80% del Costo de Equipos. Se estable un índice igual al 10%.

$$\text{COSTO CAÑERIAS INST} = \text{USD } 41.557$$

- 5) **Instalaciones Eléctricas:** Este costo involucra medidores, automáticos, iluminación general, transformadores, etc. El rango es de un 10 a 40% del Costo de Equipos. Se estable un índice igual al 10%.

$$\text{COSTO I. ELECTRICAS} = \text{USD } 41.557$$

- 6) **Edificaciones:** Tiene relación con todos los gastos producidos por montaje y construcciones de edificios, materiales de obra gruesa, accesorios, mano de obra, etc. El costo varía entre un 10 a 70% del Costo de Equipos. Se establece un índice igual al 20%.

$$\boxed{\text{COSTO EDIFICIOS} = \text{USD } 83.113}$$

- 7) **Servicios Generales:** Comprende una amplia gama de servicios entre los que encontramos, preparación del terreno, abastecimientos de todo tipo (agua, gas, aire, vapor y otros), sistemas de contingencias y seguridad, etc. El rango de costo se estima entre un 30 a 80% del Costo de Equipos. Se establece un índice igual al 30%.

$$\boxed{\text{COSTO S. GENERALES} = \text{USD } 124.670}$$

- 8) **Valor del Terreno:** Está determinado por el costo del metro cuadrado de terreno en la localidad donde se planea ejecutar el proyecto.

$$\boxed{\text{COSTO TERRENO} = \text{USD } 176.765}$$

$$\boxed{\text{TOTAL COSTOS DIRECTOS} = \text{USD } 1.091.011}$$

- **Costos Indirectos**

- 1) **Ingeniería y Supervisión:** Consta de la planificación, diseños, planos, compra de software, contabilidad, desarrollo comercial, viajes, etc. El rango de estimación varía de 5 a 30% de los Costos Directos. Se establece un índice igual al 5%.

$$\boxed{\text{COSTO SUPERVISIÓN} = \text{USD } 54.551}$$

- 2) **Costos Legales:** Encierra todos los costos del tipo de tramitaciones de terreno, contratos y permisos (estatales, ambientales y municipales). El

rango se estima entre 1 a 3% del Capital Fijo. Se estable un índice igual al 1%.

COSTOS LEGALES = USD 13.638

- 3) **Costos de Construcción:** Incluye todo lo que tenga relación con la construcción de todo tipo de oficinas y locaciones de la planta. El rango estimativo para este punto es de un 10 a 20% del Capital fijo. Se estable un índice igual al 10%.

COSTO CONSTRUCCIÓN = USD 136.376

- 4) **Contingencias:** Involucra todos los egresos producidos por situaciones extrañas a la empresa, como lo son los siniestros de toda índole causados por la naturaleza o por errores humanos, variaciones de diseños, etc. La estimación varia entre un 5 a 15% del Capital Fijo. Se estable un índice igual al 5%.

COSTO CONTINGENCIA = USD 68.188

TOTAL COSTOS INDIRECTOS = USD 273.015

CAPITAL FIJO = USD 1.363.764

9.2.2 Costo de Puesta en Marcha de la Planta

10% del Capital Fijo:

PUESTA EN MARCHA = USD 136.376

9.2.3 Estimación de la Inversión Total

Inversión Total = Capital Fijo + Capital De Trabajo + Costo De Puesta En Marcha

INVERSION TOTAL = USD 1.500.140

9.2.4 Capital de Trabajo

10 a 20% del Capital Fijo. Se estable un índice igual al 10%.

CAPITAL DE TRABAJO = USD 136.376

9.3 BENEFICIO ANUAL

9.3.1 Costo Total del Producto

Tiene en consideración desde el costo de las materias primas e insumos hasta el punto en que el producto esta posicionado en el mercado. Se clasifica en:

- ✓ Costos de Fabricación
- ✓ Gastos Generales de la Empresa

Costo Total del Producto = Fabricación + Gales. Empresa

- **Costos de Fabricación:** Contiene todos los gastos generados por conceptos de producción y operación de la planta.

Costo de Fabricación = Directo Producción + Indirectos Producción + Gales. Planta

1) Costos Directos de Producción:

a. Materias Primas:

Ítem	Cantidad por Año	Costo
Algas	4.082,45 ton	USD 2.367.819
Tierras Filtrantes	508,72 ton	USD 809.027
Hidróxido de Sodio	355,91 ton	USD 195.748
Cloruro de Potasio	1.340,81 ton	USD 134.081
Hipoclorito de Sodio	25,68 ton	USD 6.420
TOTAL COSTO MATERIAS PRIMAS		USD 3.513.095

b. Mano de Obra:

Cargo	Cantidad	Sueldo-Mes
Ingeniero Planta	1	USD 2.500
Laboratorio	1	USD 2.000
jefe Turno	3	USD 1.000
Operarios	15	USD 700
COSTO MANO DE OBRA - ANUAL		USD 216.000

- c. **Servicios Generales:** Se entiende por todos aquellos servicios básicos, como lo es el agua para realizar las distintas tareas de operación, luz, combustibles varios, etc. Se estipula un rango de costos de un 10 a 20% del Costo Total del Producto. Se estable un índice igual al 10%:

$$\boxed{S. GENERALES = USD 620.969}$$

- d. **Mantenición:** Involucra los costos de reparación, mantención y reposición de cualquier equipo, cañería o sistema que lo requiera en la zona de procesos de la planta. Se considera un rango de 2 a 10% del Capital Fijo. Se estable un índice igual al 2%:

$$\boxed{MANTENCIÓN = USD 27.275}$$

- e. **Suministros:** Están Constituidos por aquellos insumos o materiales básicos que son utilizados por la sección de mantención (soldaduras, lubricantes, herramientas, etc.). El rango varía de 10 a 30% del costo de Mantención. Se estable un índice igual al 10%:

$$\boxed{\text{SUMINISTROS} = \text{USD } 2.728}$$

- f. **Laboratorio:** Contempla el análisis de muestras en la línea de operación (viscosidad, densidad, granulometría, turbidez, etc.), y la función principal es la de realizar pruebas completas a las muestras del producto final (fuerza gel, sinéresis, solubilidad, etc.). El rango de costo es de 10 a 20% de la Mano de Obra. Se estable un índice igual al 10%:

$$\boxed{\text{LABORATORIO} = \text{USD } 21.600}$$

- g. **Patentes y Royalties:** El rango para este punto es de un 0 a 6% del Costo Total del Producto. Se estable un índice igual al 0%:

$$\boxed{\text{TOTAL COSTOS DIRECTOS DE PRODUCCIÓN} = \text{USD } 4.401.667}$$

2) Costos Indirectos de Producción:

- a. **Depreciación:** Corresponde a una parte del valor del bien, originada por su uso, el que es factible de cargar al resultado de la empresa y que se da por el valor del bien reajustado y la vida útil de éste. La cuota de depreciación anual está regulada en el artículo 31 de la Ley de la Renta. Se utiliza una depreciación lineal, adoptando un valor residual de los equipos de un 10% del valor al inicio del proyecto, la vida útil es de diez años.

Definición:

$$\text{Depreciación} = (\text{Valor Inicial} - \text{Valor Residual}) / \text{Vida Útil}$$

$$\boxed{\text{DEPRECIACIÓN} = \text{USD } 37.401}$$

- b. **Seguros:** Considerando la importante inversión realizada, es debido asegurar si no es el total de la planta gran parte de ésta. El rango estimado es de un 0,4 a 1% del Capital Fijo.

$$\text{SEGUROS} = \text{USD } 5.455$$

- c. **Contribuciones e Impuestos:** Fundamentalmente esto depende del lugar donde se establezca la planta. El impuesto local varía entre un 1 a 4% del Capital Fijo. Se debe pagar los bienes raíces, el cuál es de un 2% respecto al costo del terreno.

$$\text{CONTRIBUCION} = \text{USD } 17.173$$

$$\text{TOTAL COSTOS INDIRECTOS DE PRODUCCIÓN} = \text{USD } 60.029$$

- 3) **Costos Generales de la Planta:** Tiene relación con el control y mantención de todas las dependencias de la planta, mantenimiento, aseo, vigilancia, comunicación, despacho, porterías e información básica, etc. Se estima un valor de un 10% del Costo Total del Producto.

$$\text{TOTAL COSTOS INDIRECTOS DE PRODUCCIÓN} = \text{USD } 931.453$$

$$\text{COSTOS DE FABRICACIÓN} = \text{USD } 5.393.149$$

- **Gastos Generales de la Empresa:**

- 1) **Administración:** Involucra todo los gastos que sean generados por el área administrativa, en general se refiere a todo lo que no tenga que ver con el área de proceso propiamente tal, sueldos particulares dependiendo la complejidad del cargo en la empresa, departamentos (legal, logística,

información, recursos humanos, etc.). Se estima en un rango de 20% de la suma entre los sueldos de Mano de Obra y sueldos Administrativos.

ADMINISTRATIVOS = USD 71.376

- 2) **Distribución y Venta:** Incluye los gastos generados por concepto de marketing, despacho, flete, difusión y comisiones. El costo se estipula en 10% del Costo Total del Producto.

DISTRIBUCIÓN Y VENTAS = USD 620.969

- 3) **Investigación y Desarrollo:** Es la búsqueda incesante de mejorar la eficiencia del proceso, realizar nuevos métodos de operación, invertir en estudios que deriven en el uso de materias primas alternativas y de menor costo y por último pero no por eso menos importante es el crecimiento y diversificación de la empresa. La estimación para este importante punto es de 2 a 5% del Costo Total del Producto.

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO = USD 124.194

GASTOS GENERALES DE LA EMPRESA = USD 816.539

COSTO TOTAL DEL PRODUCTO - ANUAL = USD 6.209.688

9.4 INGRESOS TOTALES POR VENTAS

Considerando la producción del primer año de operación igual a 1.000 toneladas, y el precio por kilogramo de carragenina en el mercado externo en un rango que varía entre 7 a 14 USD. Se estima usando 7,5 USD/kg, un ingreso anual de:

INGRESOS TOTALES VENTAS - ANUAL = USD 7.500.000

En la proyección que se realiza más adelante en el flujo de caja, sólo se considera en el ingreso total por ventas el crecimiento de producción, igual al 5% anual y no se considera el aumento del precio del producto que se estima entre 1 a 2 % anual, de acuerdo a datos obtenidos desde Gelymar S.A., lo cual aumentaría entre 150 a 200 mil dólares anuales los ingresos totales por venta.

Por lo tanto el beneficio anual se define como la diferencia entre los ingresos contra el costo del producto final:

$$\text{BENEFICIO ANUAL} = \text{USD\$ } 1.290.312$$

9.5 DESARROLLO DEL FLUJO DE CAJA

La situación base es lo desarrollado anteriormente, la inversión para 1.000 toneladas año de producción es de 1.636.516 USD/año. El costo total del producto se estimo en 6.209.688 USD/año. La depreciación se supuso en un 10% del capital fijo, asociado al costo de equipos e instalaciones. Los impuestos fueron estimados como cero si las utilidades antes de impuesto son negativas, por otro lado, si etas utilidades son positivas el impuesto asociado es de 19%.

A continuación se presentan dos tablas resúmenes del flujo de caja, una asociada a un financiamiento del 100% de capitales propios y la segunda con un financiamiento de terceros de un 50%, señalando los resultados del VAN y TIR del proyecto:

En consecuencia con los resultados, tanto del flujo de caja con base de capitales propios, así como los de capitales compartidos, presentados. Existen grandes posibilidades de realizar este proyecto. Por lo tanto según las condiciones revisadas, es factible técnica y económicamente extraer carrageninas del tipo kappa I.

Flujo de Caja: 100% Capital Propio

N° Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión Inicial											
<i>Capital Fijo</i>	\$1.363.764										
<i>Capital de Trabajo</i>	\$136.376										
<i>Costos de Puesta en Marcha</i>	\$136.376										
Inversión Total	\$1.500.140										
Ingresos Totales		\$7.500.000	\$7.875.000	\$8.268.750	\$8.682.188	\$9.116.297	\$9.572.112	\$10.050.717	\$10.553.253	\$11.080.916	\$11.634.962
Egresos											
<i>Costos de Fabricación</i>		\$6.209.688	\$6.429.771	\$6.660.859	\$6.903.501	\$7.158.275	\$7.425.787	\$7.706.676	\$8.001.608	\$8.311.288	\$8.636.451
Margen Operacional		\$1.290.312	\$1.445.229	\$1.607.891	\$1.778.687	\$1.958.022	\$2.146.324	\$2.344.042	\$2.551.645	\$2.769.628	\$2.998.511
<i>Depreciación</i>		\$37.401	\$37.401	\$37.401	\$37.401	\$37.401	\$37.401	\$37.401	\$37.401	\$37.401	\$37.401
<i>U.A.I.</i>		\$1.252.911	\$1.407.828	\$1.570.490	\$1.741.286	\$1.920.621	\$2.108.923	\$2.306.641	\$2.514.244	\$2.732.227	\$2.961.110
<i>Impuestos</i>	19%	\$238.053	\$267.487	\$298.393	\$330.844	\$364.918	\$400.695	\$438.262	\$477.706	\$519.123	\$562.611
<i>U.D.I.</i>		\$1.014.858	\$1.140.341	\$1.272.097	\$1.410.442	\$1.555.703	\$1.708.228	\$1.868.379	\$2.036.538	\$2.213.104	\$2.398.499
<i>Valor Residual</i>											\$177.933
Flujo de Caja	-\$1.500.140	\$1.052.259	\$1.177.742	\$1.309.498	\$1.447.843	\$1.593.104	\$1.745.629	\$1.905.780	\$2.073.938	\$2.250.505	\$2.613.833
		<i>-\$447.881</i>	<i>\$729.861</i>	<i>\$2.039.359</i>	<i>\$3.487.201</i>	<i>\$5.080.306</i>	<i>\$6.825.935</i>	<i>\$8.731.715</i>	<i>\$10.805.653</i>	<i>\$13.056.158</i>	<i>\$15.669.991</i>

Cálculo de VAN y TIR:

Capital Propio

VAN =	\$6.581.854
TIR =	81%

Flujo de Caja: 50% Capital Propio y 50% Préstamo Bancario

N° Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión Inicial											
<i>Capital Fijo</i>	\$1.597.520										
<i>Capital de Trabajo</i>	\$159.752										
<i>Costos de Puesta en Marcha</i>	\$159.752										
Inversión Total	\$878.636										
Ingresos Totales		\$7.500.000	\$7.875.000	\$8.268.750	\$8.682.188	\$9.116.297	\$9.572.112	\$10.050.717	\$10.553.253	\$11.080.916	\$11.634.962
Egresos											
<i>Costos de Fabricación</i>		\$6.209.688	\$6.429.771	\$6.660.859	\$6.903.501	\$7.158.275	\$7.425.787	\$7.706.676	\$8.001.608	\$8.311.288	\$8.636.451
Margen Operacional		\$1.290.312	\$1.445.229	\$1.607.891	\$1.778.687	\$1.958.022	\$2.146.324	\$2.344.042	\$2.551.645	\$2.769.628	\$2.998.511
<i>Intereses</i>	12%	\$105.436	\$99.428	\$92.699	\$85.162	\$76.721	\$67.267	\$56.679	\$44.820	\$31.537	\$16.661
<i>Depreciación</i>		\$37.401	\$37.401	\$37.401	\$37.401	\$37.401	\$37.401	\$37.401	\$37.401	\$37.401	\$37.401
<i>U.A.I.</i>		\$1.147.475	\$1.308.400	\$1.477.791	\$1.656.124	\$1.843.900	\$2.041.656	\$2.249.962	\$2.469.424	\$2.700.690	\$2.944.448
<i>Impuestos</i>	19%	\$218.020	\$248.596	\$280.780	\$314.664	\$350.341	\$387.915	\$427.493	\$469.191	\$513.131	\$559.445
<i>U.D.I.</i>		\$929.455	\$1.059.804	\$1.197.011	\$1.341.460	\$1.493.559	\$1.653.742	\$1.822.469	\$2.000.234	\$2.187.559	\$2.385.003
<i>Amortización</i>		\$50.068	\$56.077	\$62.806	\$70.342	\$78.783	\$88.238	\$98.826	\$110.685	\$123.967	\$138.843
<i>Valor Residual</i>											\$177.933
Flujo de Caja	-\$878.636	\$916.787	\$1.041.128	\$1.171.606	\$1.308.519	\$1.452.177	\$1.602.905	\$1.761.044	\$1.926.950	\$2.100.992	\$2.461.494
		\$38.151	\$1.079.280	\$2.250.886	\$3.559.405	\$5.011.581	\$6.614.487	\$8.375.531	\$10.302.480	\$12.403.473	\$14.864.967

Cálculo de VAN y TIR:

50% de Financiamiento

VAN =	\$6.425.489
TIR =	117%

9.6 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Se desarrollaron diferentes cambios en el precio y producción para obtener los diferentes escenarios de las posibles realidades a enfrentar en el desarrollo de este proyecto. Siempre pensando en escenarios más complejos y adversos.

9.6.1 Factor Precios

Suponiendo una variación del precio disminuyendo y graficando un 0%, 10%, 17,5% y 20%, se realizo los flujos de cajas correspondientes. Se obtuvieron las siguientes curvas de VAN (valor actual neto) vs. Precio de venta del producto.

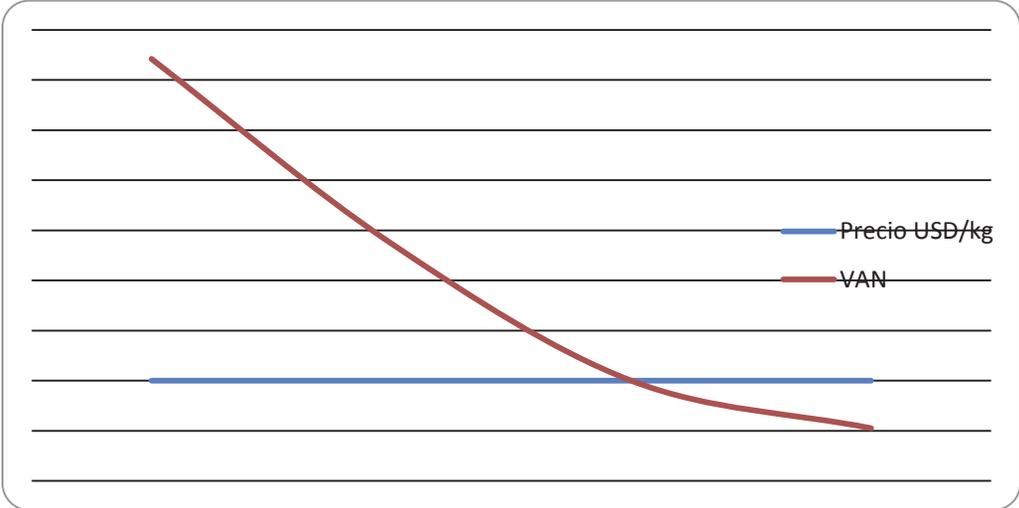


Figura 9.1 Gráfico VAN vs. Precio para una producción de 1000 ton.

El cálculo del precio mínimo al cuál se puede vender el producto, para que este proyecto aún sea factible económicamente es de 6,2 dólares por kilogramo de carragenina, lo cual implica una reducción del precio proyectado de venta igual a un 17,5%. Reducciones del precio mayor a este porcentaje, hace al proyecto no factible de realizar. Esta situación se muestra y clarifica en el gráfico, el punto de intersección de la curva del VAN=0, con el eje x, donde el precio marca 6,2 USD/kg.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Basados en los datos obtenidos se realizó una evaluación económica base, tomando en cuenta los ingresos proyectados, que tienen un promedio de 7.500.000 USD\$. En este contexto se obtuvo que el proyecto es viable económicamente, donde se obtuvo un resultado VAN de 6.581.854 USD\$ y TIR de 81%.

La inversión total estimada de 1.500.140 USD\$ está considerada dentro de los rangos de inversión implementados para medianos proyectos en la industria de los carragenatos, sobre todo en los que no hay operación de destilación, éstos aumentan bastante estas cifras de inversión. Por otro lado el costo total del producto estimado alcanzo una suma de 6.209.688 USD\$, estos son elevados, sin embargo podrían ser reducidos con una nueva etapa de factibilidad y posteriormente con una ingeniería de detalle y una optimización del proceso, si aplica.

En el análisis de sensibilidad de precios que se realizó, indica que este proyecto se hace inviable de ejecutar, si se prevé una reducción del precio de venta del producto final que sobrepase un 17,5%. Sin embargo la variación del precio normalmente es al alza, y si no fuera este el caso, las reducciones en años complicados o de crisis, jamás han alcanzado el 10%.

El marco regulatorio actual y las tendencias mundiales van en dirección de generar cada vez productos lo más sanos posibles, lo cual potencia a futuro un mayor crecimiento de la demanda en el mercado de las carrageninas extraídas de fuentes naturales, considerando que todos los carragenatos provenientes de origen animal irán en franca disminución en sus usos como aditivos de alimentos.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Perry Ed. Séptima (todos sus volúmenes).
- ✓ Kern Ed. Trigésima Primera Reimpresión.
- ✓ Robert Treybal “Operaciones de Transferencia de Masa”.
- ✓ Introducción a la Termodinámica – Smith Van Ness.
- ✓ Departamento de Informática del Servicio Nacional de Aduanas.
- ✓ Registros Aduaneros (Valparaíso y Puerto Montt).
- ✓ Instituto de fomento Pesquero (IFOP).
- ✓ Dirección General de Relaciones Económicas (Pro-Chile).
- ✓ Fondo Monetario Internacional (FMI).
- ✓ Banco Central de Chile.
- ✓ Análisis y Simulación de Procesos de Refinación del Petróleo - Rafael Torres Boble.
- ✓ [http://www.citchile.cl/termo/cap-5\(pag46-53\).pdf](http://www.citchile.cl/termo/cap-5(pag46-53).pdf).
- ✓ www.eurocombustion.com/productos-quemadores.shtml.

ANEXOS - TABLA DE CONTENIDO GENERAL

ANEXO A	167
ACTUALIZACIÓN TENDENCIAS DE MERCADO	167
❖ ACTUALIZACIÓN TENDENCIAS DE MERCADO	168
ANEXO B	170
BALANCE DE MASA Y ENERGÍA	170
❖ B.1: EXTRACCIÓN	171
❖ B.2: SECADO	172
ANEXO C	174
DISEÑO DE EQUIPOS	174
❖ C.1: ESTANQUE (TIPO: VER PARA TODOS LOS ESTANQUE)	175
❖ C.2: MEZCLADOR ESTÁTICO	181
❖ C.3: SECADOR	184
❖ C.4: INTERCAMBIADOR DE CALOR	186
❖ C.5: FILTRO PRENSA	192
❖ C.6: BOMBAS	193
ANEXO D	195
Tablas, Gráficas y Datos Bibliográficos.	195

ANEXO A

ACTUALIZACIÓN TENDENCIAS DE MERCADO

❖ ACTUALIZACIÓN TENDENCIAS DE MERCADO

Es necesario, definir nuevamente la situación financiera respecto de los mercados que serán directamente variables a considerar para la proyección de la planta, datos entregados y definidos en capítulo 3 del presente documento, pero por ser de años atrás serán actualizados a continuación para respaldar y seguir considerando el mismo crecimiento anual de la planta hasta su décimo año de operación.

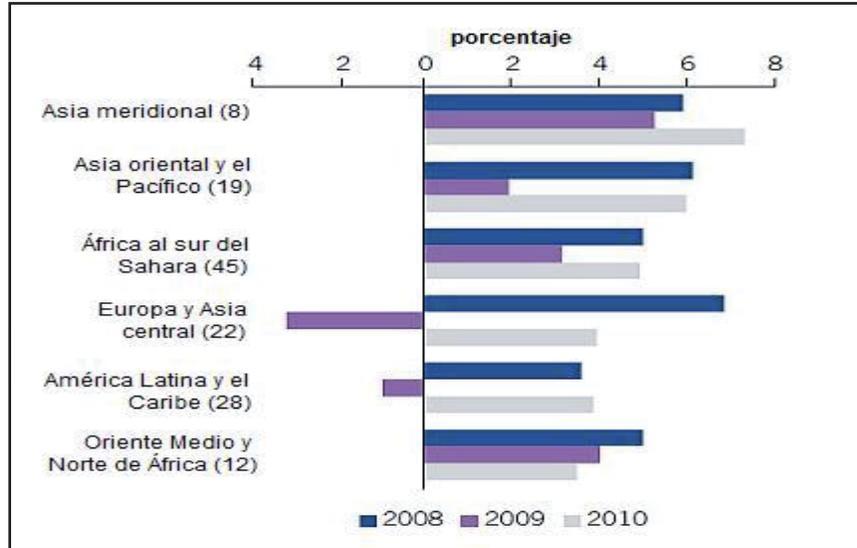
PIB Chile (Var. Real PIB%)						
2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
6,0	5,6	4,6	4,6	3,7	-1,7	5,2

Fuente: Banco Central de Chile.

De acuerdo con los dato obtenidos y sin considerar el año 2009, el promedio del PIB alcanza el 5%, mientras que incorporando el periodo antes mencionado el PIB pierde un punto porcentual, asumiendo que este año es parte de una desviación que no debiese repetirse, se ratifica el crecimiento porcentual de 5% expuesto en el capítulo 3.

Además se entregan los siguientes datos extras de crecimiento de otras regiones, donde se puntualiza de manera especial las zonas de Asia y Europa, que es a donde apuntan las exportaciones, es claro el problema del año 2009, sin embargo se muestra una recuperación inmediata al año siguiente, tendencia que debiese mantenerse en el tiempo. Con esto se respalda y ratifica que el crecimiento de esta planta no se verá afectado en su 5% de crecimiento anual como ya se había proyectado.

CRECIMIENTO DEL PIB-MERCADOS VARIOS



Fuentes: FMI, Data Company y oficinas nacionales de estadísticas.

Nota: Las cifras entre paréntesis se refieren a número de países registrados.

ANEXO B

BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

❖ B.1: EXTRACCIÓN

Reacción Postulada:



m-SO ₃ :	PM =	468,00	
	C _p =	1,09	KJ/Kg*K (s)
	ΔH _f =	-2.240,24	KJ/mol (s)
NaOH:	PM =	40,00	
	ΔH _f =	-425,61	KJ/mol (s)
	C _p =	1,18	KJ/Kg*K (s)
	H _{disolucion} =	42,59	KJ/mol
KI:	PM =	388,00	
	C _p =	1,12	KJ/Kg*K (s)
	ΔH _f =	-1.689,51	KJ/mol (s)
Na ₂ SO ₄ :	PM =	142,00	
	ΔH _f =	-1.383,74	KJ/mol (sol)
	C _p =	0,97	KJ/Kg*K (sol)
	H _{disolucion} =	1,17	KJ/mol
H ₂ O:	PM =	18,00	
	ΔH _f =	285,83	KJ/mol (l)
	C _p =	4,18	KJ/Kg*K (l)

ENTALPIA DE ENTRADA:

Base entalpia a 25°C y 1 atm

Tentrada =	15 °C	288 K
Tbase =	25 °C	298 K

m-SO ₃ :	H1 =	-4.775,99	KJ/Kg
		-1.141,46	Kcal/Kg
NaOH:	H2 =	-10.628,43	KJ/Kg
		-2.540,20	Kcal/Kg
Agua:	H3 =	15.921,28	KJ/Kg
		3.805,19	Kcal/Kg

Hentrada =	1.034.945,21	GJ/año
	247.351,91	Gcal/año

ENTALPIA DE SALIDA:

Tsalida =	90 °C	363 K
-----------	-------	-------

KI:	H4 =	-4.281,65	KJ/Kg
		-1.023,31	Kcal/Kg
Na ₂ SO ₄ :	H5 =	-9.681,81	KJ/Kg
		-2.313,95	Kcal/Kg
H ₂ O:	H6 =	16.151,40	KJ/Kg

		3.860,19	Kcal/Kg
NaOH:	H7 =	-9.498,82	KJ/Kg
		-2.270,22	Kcal/Kg
m-SO3:	H8 =	-4.716,30	KJ/Kg
		-1.127,19	Kcal/Kg

Hsalida =	1.051.457,33	GJ/año
	251.298,30	Gcal/año

Q = H =	16.512	GJ/año
	3.946	Gcal/año
	483.627	11,60704874 Gcal/día
	2.023.544	Kcal/hr
		KJ/hr

Para los Sólidos no Reaccionantes se toma un base de entalpia a la entrada, a 15°C y 1 atm. por lo tanto solo se estima su calor por calentamiento:

Se asume Cp solidos equivalente al Cp de la celulosa, Dato obtenido de:

[http://www.citchile.cl/termo/cap-5\(pag46-53\).pdf](http://www.citchile.cl/termo/cap-5(pag46-53).pdf)

Apuntes de Termodinámica 2005 (Dr. José O. Valderrama, Univ. de La Serena Chile)

M solido =	2.000,40	Ton
Cp solido =	1,34	KJ/Kg*K
ΔT =	75	K

Q solido =	201	GJ
	48	Gcal

De acuerdo al resultado se tiene que:

$$Q_{\text{final}} = Q + H_{\text{solid}}$$

Q final Extracción =	16.713	GJ/año
	3.994	Gcal/año

❖ B.2: SECADO

Balance de Masa:

S: Masa de Carragenina Kappa I (Kg)

G: Masa de Aire Seco (Kg)

$$S^*(X_e - X_s) = G^*(Y_s - Y_e)$$

$$S = 1.433.517,15$$

$$X_e = 0,52$$

Xe: Humedad de la Carragenina Kappa I a la entrada
 Xs: Humedad de la Carragenina Kappa I a la salida
 Ye: Humedad del Aire a la entrada
 Ys: Humedad del Aire a la salida

$$X_s = 0,09$$

Balance de Energía:

$$S*(H_e - H_s) = G*(h_s - h_e) + Q$$

$$Q=0$$

He: Entalpia Carragenina Kappa I de entrada (KJ/Kg)
 Hs: Entalpia Carragenina Kappa I de salida (KJ/Kg)
 he: Entalpia del Aire de entrada (KJ/Kg)
 hs: Entalpia del Aire de salida (KJ/Kg)
 Q: Calor perdido (KJ)

Te: Temperatura de entrada del solido
 Ts: Temperatura de salida del solido
 te: Temperatura de entrada del aire
 ts: Temperatura de salida del aire

$$T_e = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 68 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_s = 40 \text{ }^\circ\text{C} = 104 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$t_e = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 68 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$t_s = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 68 \text{ }^\circ\text{F}$$

"Suponiendo que el aire entra con 3% de Humedad Relativa"

To = 0, Base de Entalpía

Entonces de tablas psicométricas se tiene: **Ye = 0,014**

De tabla 7.1 Robert Treybal $h = (1005 + 1884*Y)*t + 2502300*Y$
 "Op. de Transf. de Masa" h tiene unidades J/Kg

$$H = C_{ps}*(T - T_o) + X*C_{p\text{agua}}*(T - T_o) + DH$$

Entalpia de sólidos

$\Delta H = 0$, por lo general en casos que se trate de agua-aire

Por lo tanto: Entalpia del aire

he =	127.856 J/Kg
hs =	50.250+2.596.500*Ys
He =	43.614 J/Kg
Hs =	14.553 J/Kg

G*(Ys-0,025) =	622.501 Kg
G*(hs-157247) =	41.659.818.516 J
G*(hs-157247) =	41.659.818.516 J

Despejando G:

$$G = \frac{625875}{(Y_s - 0,025)}$$

Esto implica que:

$$Y_s = 0,03$$

Sustituyendo Ys, se tiene que Masa de Aire Seco es: **G = 38.169.037** kg

ANEXO C

DISEÑO DE EQUIPOS

❖ **C.1: ESTANQUE ENCHAQUETADO CON AGITADOR (TIPO: VER PARA TODOS LOS ESTANQUE).**

➤ **Estanque Vertical Cilíndrico**

Datos

Masa Mezcla	Mm =	70.813,10	Ton
Volumen Mezcla	Vm =	65.933,29	m ³
Densidad Mezcla	dm =	1,07	Ton/m ³

Relación: $\alpha = \frac{H_e}{D_e}$

$1 < \alpha < 5$ "Estanques a Presión"

He y De en metros

He: Altura de estanque

De: Diámetro de estanque

Carga diaria $V_{dia} = 193,92 \text{ m}^3$

Tiempo de residencia entre cargas $2,5 \text{ hr}$

Nº de cargas diarias maximo $N^\circ \text{Cargas} = 9,6$
 Nº cargas seleccionado $N^\circ \text{C. Estand} = 9$

Volumen operativo por carga $V = 21,55 \text{ m}^3$

Nº estanques $N^\circ \text{estq} = 2$

Volumen operativo por estanque $10,77 \text{ m}^3$

Volumen real estanque $V_e = 12,93 \text{ m}^3$

Luego: $De = ((4 \cdot V) / (\pi \cdot \alpha))^{\frac{1}{3}}$ Si: $\alpha = 2,3$

De =	1,93	m
He =	4,43	m

➤ **Diseño Cabezal Toriesferico:**

Volumen de Cabezal: **Vcab. Toriesferico = $0,0809 \cdot D_i^3$**

$D_i = D_e$

Hcab. Toriesferico = $\text{tg}(30) \cdot D_i/2$

Tabla 10.65. Vol.II Perry Ed. Séptima
(Ver Anexo D-i.)

V c.t. =	0,58	m³
H c.t. =	0,56	m

Volumen total de estanque y cabezal:

V total =	13,51	m ³
H total =	4,99	m

Diseño de Agitador

Datos

Viscosidad Mezcla	$\mu =$	100	Cp	0,1 Pa*s
Velocidad de rotación	$N =$	45	r.p.m.	0,75 r.p.s.

Diámetro Agitador $Da=0,6*De$

Da =	1,16	m
------	------	---

Ancho de Aspas $Aa=De/15$

Aa =	0,13	m
------	------	---

Largo de Vástago $Lv=Htotal-De/3$

Lv =	4,35	m
------	------	---

Diámetro Impulsor $Dimpul=0,4*Da$

Dimpul =	0,46	m
----------	------	---

➤ **Potencia del Motor del Agitador:**

$$Np=gc*P/\rho*N^3*Da^5$$

$$NRe=Da^2*N*\rho/\mu$$

- Np: Numero de potencia
- Nre: Numero de Reynolds
- P: Potencia transmitida por el eje del impulsor
- gc: Factor de conversión
- Da: Diámetro de agitador
- ρ : Densidad del fluido
- μ : Viscosidad del fluido
- N: Veloc. de giro del impulsor

Nre =	10.769,21
-------	-----------

Np =	5
------	---

P =	4.682,17	W
	6,28	HP

P estand. =	7	HP
-------------	---	----

Flujo turbulento

N°Aspas, 6. Con el Nre y el tipo de aspa elegido se entra a la figura 18.17 del Perry. (Ver Anexo D-ii.)

gc =	1
1 HP =	745,7 W

➤ **Diseño de Camisa de Calentamiento de Solución:**

Estas ecuaciones toman en consideración el tiempo requerido para cambiar la t° del lote y emplean una diferencia de temperatura que varía con el tiempo.

$$\boxed{\ln\left(\frac{T_1 - t_1}{T_1 - t_2}\right) = \frac{U * A * \theta}{m * Cp}} \quad \text{A)}$$

$$Q = m * cp * (t_2 - t_1) = U * A * \Delta t \quad \text{B)}$$

m : Masa Lote [kg]

Cp : Capacidad Calorífica [kcal / kg*°C]

U : Coeficiente Transferencia de Calor [kcal / h m² °C]

A : Área [m²]

$T1$: T° Medio Condensante [°C]

$t 1$: T° inicial [°C]

$t 2$: T° final

θ : Tiempo

Datos conocidos por estanques:

$m =$	11.570,77	kg
$Cp =$	1,00	Kcal/kg*°C
$A =$	26,83	m ²
$t1 =$	15	°C
$t2 =$	90	°C
$\theta =$	1,00	h
$U =$?	kcal/h*m ² *°C
$T1 =$?	°C

$$U_{recom} = 114 \quad \text{Btu/h*pie}^{2*°F}$$

$U =$	557	Kcal/h*m ² *°C
$Q =$	867.786,73	Kcal/h

Dato U recomendado: Kern, para fluido caliente (vapor) y fluido frío compuesto orgánico. (Ver Anexo D-iii.)

Despejando las ecuaciones A y B y reemplazando los datos conocidos se obtiene Temperatura de medio condensante:

$T1 =$	118,4	°C	245 °F
--------	-------	----	--------

Luego
Donde

$$Q = Mv * \Delta Hv$$

Q: Calor requerido para calentamiento

Mv: Masa de vapor necesario a 134°C

ΔHv : Entalpia de vaporización a 134°C

$\Delta H_v =$	2.207,90	KJ/Kg
	527,69	Kcal/Kg

$M_v =$	1.644,51	kg/h
---------	-----------------	------

- ✓ **Pv:** Presión de vapor
- ✓ **Vesp:** Volumen Especifico

$P_v =$	186,28	KPa
	1,84	Atm
	27,01	psi (lbf/pulg ²)
$V_{esp} =$	946,3	cm ³ /gr
	0,9463	m ³ /kg

➤ Área de Chaqueta y Velocidad de Vapor

$r_{chaq} = 39,49$ pulg

$S = 0,06$ m²

$F_v = 0,43$ m³/s

$V_v =$	7,68	m/s
	25,20	pie/s

r chaq: Radio Chaqueta
S: Superficie Chaqueta de Vapor
Fv: Flujo de Vapor
Vv: Velocidad de Vapor

➤ Diseño Mecánico de Estanque

AISI 304 Tratamiento térmico y RX

$1 = g/gc = 32/32$

Presión interna, columna de liquido

$t = (P \cdot r / (\sigma \cdot \epsilon - 0,6 \cdot P)) + t_c$

$P = \rho \cdot g \cdot h / gc$

Donde:

$P =$	1097,27	lbf/pie ²
	7,62	lbf/pulg ²

t: Espesor de diseño

P: Presión de operación

r: Radio interno de estanque

$r = 37,935$ pulg

t_c: Espesor de seguridad

$\epsilon = 0,900$

ϵ : Eficiencia de soldadura

$\sigma = 16.500$ lbf/pulg²

σ : Esfuerzo max. Permissible del material

$t_c = 0,039$ pulg

$t = 0,059$ pulg

$1,495$ mm

t estandarizado

t estand. = 2	mm
----------------------	----

➤ Diseño Mecánico Cabezal Toriesferico

$$tcab = (P * L * m / (2 * e * \epsilon - 0,2 * P)) + tc$$

$$m = (3 + (L / icr)^{0,5}) / 4$$

L <= De icr
L/icr < 16,67 = 150 mm

L = 75,870 pulg
icr = 5,906 pulg
L/icr = 12,847
m = 1,646

"cumple con ser menor a 16,67"

tcab = 0,071 pulg
1,814 mm

tcab. est = 2 mm

Verificación de espesor de Carcasa: Diseño sujeto a presión externa producida por el vapor

Se debe cumplir que: Pv < Pdiseño

Pv = 27,01 lbf/pulg²
1,84 Atm
Tv = 118 °C
245 °F

t = 14 mm

$$Padm = B / (do / t)$$

Padm: Presión admisible
B: Factor de forma, (Anexo D-iv.)
do: Diámetro externo carcasa
t: Espesor de carcasa

t = 0,55 pulg
l/do = 2,27
do/t = 139,65
l = 174,50
do = 76,97

de grafico: B = 4.500

Padm = 32,22

➤ Diseño Espesor de Chaqueta

$$t = (P * r / (\sigma * \epsilon - 0,6 * P)) + tc$$

Para un ancho de chaqueta:

A chaq. = 1 pulg

Donde:

t: Espesor de diseño
P: Presión de operación
r: Radio interno chaqueta
tc. Espesor de seguridad
ε: Eficiencia de soldadura
σ: Esfuerzo max. Permissible del material

P = 27,01 lbf/pulg²
r = 39,49 pulg
tc = 0,039 pulg
ε = 0,900
σ = 16.500 lbf/pulg²

t chaq. = 0,11 pulg
2,83 mm

Espesor Chaqueta de Vapor Estanque

t estandarizado = 3 mm

➤ Espesor del Aislante

$Q_{\text{disipado}} = 2 \cdot \pi \cdot H \cdot k \cdot (t_1 - t_2) / \ln(r_2/r_1)$; Ecc 2.31 Kern, Conducción

donde:

Q: Flujo de Calor, (Btu/h)

H: Altura de Estanque, (pie)

r: Radio de sección involucrada, (pie)

k: Conductividad Termica del Material, (Btu/pie²*h*°F)

t: Temperaturas, (°F)

Para un espesor de lana mineral:

t = 1 pulg 1

Temperatura Ambiente:

T_{amb.} = 15 °C
59 °F

Q_{Disipado} = 5.723,50 Btu/h
1.443,25 Kcal/h

Porcentaje de Calor perdido respecto al calor Total involucrado en la etapa:

Q total = 867.786,73 Kcal/h

Q_{Perdido} = 0,17%

Lana mineral:

$\rho = 100 \text{ kg/m}^3$

$k_{\text{lm.}} = 0,041 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$

❖ C.2: MEZCLADOR ESTÁTICO

"para líquidos incompresibles se cumple que: $Q_v = Q_{v1} = Q_{v2} \dots$ "

Q_m : Flujo masico $Q_m = A \cdot V \cdot \rho$ "flujo turbulento $Re > 10000$ "
 Q_v : Flujo Volumetrico $Q_v = A \cdot V$ "la turbulencia en cañerías aparece con $Re \geq 2100$ ". Apunte Mec. Fluidos, J. Torres
 A : Area de Seccion $Re = V \cdot D \cdot \rho / \mu$
 V : Velocidad de fluido
 Re : N° de Reynolds
 D : Diametro del tubo
 ρ : Densidad del fluido
 μ : Viscosidad del fluido

Fluido 1: Solución de Carragenina

Datos:

$Q_1 = 30,17$ m³/h
 ton/m³
 $\rho_1 = 1,03$ 3
 $\mu_1 = 242$ lb/pie³*h
 $T_1 = 45$ °C

Fluido 2: Solución de KCl

$Q_2 = 4,52$ m³/h
 ton/m³
 $\rho_2 = 1,18$ 3
 $\mu_2 = 2,5$ lb/pie³*h
 $T_2 = 20$ °C

Fluido 3: Mezcla

$Q_3 = 34,69$ m³/h
 $\rho_3 = 1,05$ ton/m³
 $\mu_3 = 210,76$ lb/pie³*h
 $T_3 = 41,7$ °C

Por ley de conservación de la energía se aplica la llamada **Ecuación de Flujo**

$$U_2 + m \cdot V_2^2 / 2gc + m \cdot g \cdot Z_2 / gc + P_2 \cdot V_2 = U_1 + m \cdot V_1^2 / 2gc + m \cdot g \cdot Z_1 / gc + P_1 \cdot V_1 + q + w$$

Despreciando la energía interna, calor, trabajo y como todo está a la misma altura, se hace cero también el termino de altura estática.

Se arregla la ecuación cambiando la masa por un flujo másico, es decir, la ecuación queda de la forma que sigue:

$$F_2 \cdot V_2^2 / 2gc + P_2 \cdot V_2 / \rho_2 = F_1 \cdot V_1^2 / 2gc + P_1 \cdot V_1 / \rho_1$$

Para:

Solución de Kappa I precipitada:

$Q_3 = 34,69$ m³/h
 $\rho_3 = 1,05$ ton/m³
 $\mu_3 = 210,76$ lb/pie³*h
 $T_3 = 41,74$ °C

 $F_3 = 36,43$ ton/h

Suposiciones: Se establece que la presión de salida del mezclador es similar a la presión de descarga en el tamiz
 Luego la descarga se realiza a presión atmosférica, por lo tanto:

$P_3 = 0,3$ atm

Solución de Kappa I:

Q1 =	30,17	m ³ /h
ρ1 =	1,03	ton/m ³
μ1 =	242,00	lb/pie*h
T1 =	45,00	°C
F1 =	31,11	ton/h

Suposiciones: La presión de entrada es similar a la presión de salida del intercambiador de calor

La velocidad de la solución se obtiene por tablas de acuerdo a las recomendaciones para fluidos en cañerías

P1 =	0,5	atm
V1 =	8	pie/s

Solución de KCl al 15% en peso:

Q2 =	4,52	m ³ /h
ρ2 =	1,18	ton/m ³
μ2 =	2,50	lb/pie*h
T2 =	20,00	°C
F2 =	5,32	ton/h

Suposiciones: La presión es la generada por la altura de liquido del estanque de KCl, y la

velocidad es al igual que en F1, y es obtenida de tablas de velocidades recomendadas.

P2 =	4,99	lbf/plg ²
V2 =	6	pie/s

Realizando el desarrollo de la ecuación, se obtiene la V3:

$$F2 \cdot V2^2 / 2gc + P2 \cdot V2 / \rho2 = F1 \cdot V1^2 / 2gc + P1 \cdot V1 / \rho1$$

$$1m/s = 3,281 \frac{pie}{s}$$

$$1atm = 14,696 \frac{psi}{Pa} = 101325 Pa$$

Valores por términos separados:

$$V3 = 6,33 \text{ m/s} \quad 20,78 \text{ pie/s}$$

Luego se obtiene el diámetro de la cañería:

$$Q = A \cdot v ;$$
$$A = \pi \cdot D^2 / 4$$
$$D = (4 \cdot Q / \pi \cdot v)^{1/2}$$

D3 =	0,04	m
	4,40	cm
	1,73	pulg

Con estos datos se determina el numero de reynolds

$$1\text{ton/m}^3 = 62,428 \text{ lb/pe}^3$$

$$\text{Re} = 3.360,64$$

Entonces se tiene que:

D2 =	0,03	m
	1,16	pulg
D1 =	0,04	m
	1,44	pulg

❖ C.3: SECADOR

➤ Datos

Masa Mezcla Mm = 2.180,67 Ton
 Volumen Mezcla Vm = 1.677,44 m³
 Densidad Mezcla dm = 1,30 Ton/m³ "Datos de Gelymar"

Carga Total diaria: Carga dia = 6.413,74 Kg/día

Nºde Cargas diarias: N° Cargas = 18

Carga por Estanque: **C, por est = 356,32 Kg**

Masa de Agua a evaporar: **Magua = 122,08 Kg** "Condiciones a la entrada del secador"
 Masa de carg. K1: **M K1 = 234,23 Kg**

➤ Diseño Operativo del Secador

Flujo Másico: Fm

Tiempo de Residencia: Tr

Espesor de lecho: b

Largo de Secador: L

Ancho del Secador: a

"Precios; US 8,600/m²" Perry
 Secador = **8600**

Datos:

Tr = 1 h
b = 3 cm

Volumen lecho: V

V = 356,32 Kg/h

Luego V= L*b*a **a = 1,3 m**

Entonces el largo del secador es: **L = 7 m**

Resumen de dimensiones del secador			
	L =	7	m
	a =	1,3	m
Área del secador:	A =	9,14	m ²

➤ Datos y Selección del Quemador

Flujo a tratar de Aire Caliente:

Maire = 6.236,8 Kg/h

Daire = 1,2 Kg/m³

F aire = 5.197,31 m³/h

Flujo de aire a tratar:

Fa = 5.197,31 m³/h

Horas de trabajo al año:

htrab = 8160 h/año

Consumo del generador de aire caliente:

Cgen = 4 Kg/h

Cgen = 4,69 l/h

"Combustible Diesel"

Densidad Diesel = 0,8525 kg/l

Flujo Entregado = 1300 m³/h

N° de Generadores = 4

Tipos de Quemadores



Quemadores : de Gasóleo y gas

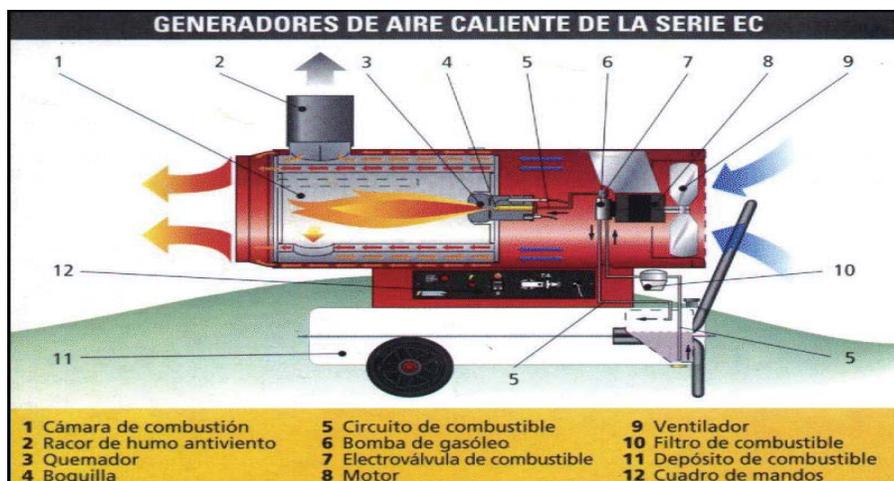
* Marca : UNIGAS.

* Potencias : desde 30.000 hasta 6.000.000 Kcal/h.

* Versiones : Todo-nada, Dos llamas, progresivos, modulantes.

Kromschroder o Dungs

www.eurocombustion.com/productos-quemadores.shtml



❖ C.4: INTERCAMBIADOR DE CALOR

➤ Área de Transferencia

Producto, Solucion de Carragenina:

Flujo de Producto	Fv =	30,17	m ³ /h
Temperatura de entrada	Te =	71,82	°C
Temperatura de salida	Ts =	45	°C
Capacidad calorifica	Cp =	1,00	Kcal/Kg*°C
Densidad	ρ =	1,03	Ton/m ³

$$Q = m \cdot cp \cdot \Delta T$$

Calor Transferido al agua por la solución

$$Q = 834.426,64 \text{ Kcal/h}$$

Agua de Pozo:

Flujo Másico de agua	Fa =	?	Kg/h
Temperatura de entrada	te =	15	°C
Temperatura de salida	ts =	25	°C
Capacidad calorifica	Cp =	1,00	Kcal/Kg*°C
Densidad	ρ =	1	Ton/m ³

Por lo tanto el Flujo másico del agua (Fa) es:

$$Fa = 83.444,67 \text{ Kg/h}$$

$$83,44 \text{ Ton/h}$$

Luego el Caudal es:

$$Fva = 83,44 \text{ m}^3/\text{h}$$

Ahora se calcula el diámetro aproximado de la cañería del agua:

Donde:

$$D = 12 \cdot \left(\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi} \right)^{1/2}$$

D: Diametro de cañeria, pulg

Q: Caudal, pie³/s

$$Q = 0,82 \text{ pie}^3/\text{s}$$

v: Velocidad de Succion o Descarga, pie/s

$$v = 16 \text{ pie/s} \quad 4,9 \text{ m/s}$$

$$D = 3,06 \text{ pulg} \quad 77,80 \text{ mm}$$

Luego considerando que el diámetro calculado no es excesivamente grande, se calcula el área de transferencia del intercambiador

Contracorriente:

$$\Delta T \text{ lmtd} = \left(\frac{(T1-t2)-(T2-t1)}{\ln((T1-t2)/(T2-t1))} \right) = (\Delta t2 - \Delta t1) / \ln(\Delta t2 / \Delta t1)$$

$$(T1-t2) = \Delta t2$$

$$(T2-t1) = \Delta t1$$

Donde:

$$\Delta t2 = 47 \text{ °C}$$

T1: Entrada Fluido Caliente

$$\Delta t1 = 30 \text{ °C}$$

T2: Salida Fluido Caliente

t1: Entrada Fluido Frio

$$\Delta T \text{ lmtd} = 37,79 \text{ °C}$$

t2: Salida Fluido Frio

68,02 °F

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \text{ lmtd}$$

U: Coef. Total de transferencia de calor

A: Area de transferencia de calor

DT lmtd: Media logarítmica de la diferencia de temperatura

U = **87,5** Btu/pie²*h*°F
 Q = 3.309.077,68 Btu/h
 ΔTlmtd = 68,02 °F

"Tabla N°8, Apéndice del Kern. 50<U<125"

A =	555,98	pie ²
	51,65	m ²

➤ Diseño IC

Diseño del Intercambiador de Calor

Diferencia Verdadera de Temperatura:

$$R = (T1-T2) / (t2-t1) \quad \Delta t = Ft \cdot \Delta T \text{ lmtd}$$

$$S = (t2-t1)/(T1-t1)$$

Δt: Diferencia Verdadera de temperatura

R = 2,68

Ft: Relación fraccionaria entre ΔT lmtd y Δt

S = 0,18

Ft = 0,98

fig. 19

Δt = **37,03** °C

66,66 °F

Temperaturas Calóricas:

Tc = **58** °C

137 °F

tc = **20** °C

68 °F

Área Verdadera del Intercambiador:

A = 567,32 pie²

52,70 m²

Numero de Tubos:

Donde:

$$Nt = A / (L \cdot a')$$

Nt: Numero de tubos

a': Superficie por pie lineal

L: Largo de tubos

Datos: Kern, Apéndice; Tabla 10

Tubos 18 BWG

Diámetro Externo: De = 0,75 pulg

Diámetro Interno: Di = 0,65 pulg

Área de flujo por tubos:

$a'' =$	0,33	pulg ²	
$a' =$	0,20	pie ² /pie lineal	
$L =$	6,00	m	= 19,69 pie
$N_t =$	146,81		

$N_t \text{ aprox} = 147$

Fluido lado de Tubos; Agua:

Datos: Kern, Apéndice; Tabla 9
Arreglo Triangulo

Pitch:	Pitch =	1	pulg
Numero de pasos:	$N_p =$	2	
Numero de tubos reales:	$N_{tr} =$	147	
Diámetro interno Carcasa:	$D_c =$	15,25	pulg

Área de Flujo: a_t

$$a_t = N_{tr} \cdot a'' / 144 \cdot N_p$$

$a_t = 0,17$ pie²

Masa Velocidad, tubos: G_t

Donde: $G_t = w / a_t$ 1kg=2,2 lb
 w: Flujo másico 1m³=35,32 pie³
 $G_t = 1.076.836,95$ lb/h*pie²

Velocidad en tubos: v

$$v = G_t / 3600 \cdot \rho$$

$v = 4,80$ pie/s 1,46372815

Coef. de Trans de Calor referido al diámetro exterior: h_{io}

$$h_{io} = h_i \cdot D_i / D_e$$

h_i : C. de transf de calor referido al diámetro interno
 D_i, D_e : Diámetro interno y externo de los tubos respectivamente

$h_i = 1.100$ Btu/h*pie²*°F

$h_{io} = 956,27$ Btu/h*pie²*°F

Figura 25, Apéndice; Kern
 "se entra con velocidad y t_c "

Fluido lado de Carcasa; Solución de Carragenina:

Espaciamiento entre tubos: C'

$$C' = \text{Pitch} - D_e$$

Pasos 2,00

$C' = 0,25$ pulg

Área de flujo en la Carcasa: a_c

$$a_c = 1 / \text{paso} \cdot D_c \cdot C' \cdot B / 144 \cdot \text{Pitch}$$

$B = 8$ pulg

B: Espaciamiento Deflectores

Dc: Diámetro interno de carcasa $ac = 0,11 \text{ pie}^2$

Masa Velocidad, carcasa: Gc

$$Gc = W/ac$$

$$Gc = 646.265,00 \text{ lb/pie}^2 \cdot \text{h}$$

Velocidad en carcasa: v

$$v = Gc/3600 \cdot \rho$$

$$v = 2,79 \text{ pie/s} \quad 0,85179912$$

Coef. De transf. De calor flujo exterior: ho

$$ho \cdot Deq/K = ,36 \cdot (Deq \cdot Gs/\mu)^{,55} \cdot (\mu \cdot cp/K)^{,33} \cdot (\mu/\mu_w)^{,14}$$

$$Cp = 1 \text{ Btu/lb} \cdot \text{°F}$$

$$Deq = 0,061 \text{ pie}$$

$$\mu = 242 \text{ lb/pie} \cdot \text{h}$$

$$\mu_w = 2,42 \text{ lb/pie} \cdot \text{h}$$

$$K = 0,3 \text{ Btu/h} \cdot \text{pie}^2 \cdot (\text{°F/pie})$$

Kern, Apéndice figura 28

Kern, Apéndice figura 14

Tabla 4

$$ho = 506,29 \text{ Btu/h} \cdot \text{pie}^2 \cdot \text{°F}$$

Coeficiente Total de transf de calor limpio, Uc:

$$Uc = hio \cdot ho / (hio + ho)$$

$$Uc = 331,03 \text{ Btu/h} \cdot \text{pie}^2 \cdot \text{°F}$$

Área Real:

$$Areal = Ntr \cdot L \cdot a'$$

$$Areal = 568,06 \text{ pie}^2 \quad 52,77 \text{ m}^2$$

Coef. Total de transf de calor de diseño: Ud

$$Ud = Q / (Areal \cdot \Delta t)$$

$$Ud = 87,39 \text{ Btu/h} \cdot \text{pie}^2 \cdot \text{°F}$$

Factor de obstrucción: Rd

$$Rd = (Uc - Ud) / (Uc \cdot Ud)$$

$$Rd = 0,008 \text{ h} \cdot \text{pie}^2 \cdot \text{°F/Btu}$$

tabla 12, Rrecomendado=0,003

<u>SUMARIO</u>		
506,29	<i>h exterior</i>	956,27
Uc	331,03	
Ud	87,39	
Rd Calculado	0,008	
Rd Requerido	0,003	

Caída de Presión

TUBOS:

$$Ret = D * Gt / \mu$$

D = 0,05 pie
 μ = 2,42 lb/pie*h
 Gt = 1.076.836,95 lb/h*pie^2

Ret = 24.176,92

f = 0,00022 pie^2/pulg^2 *fig 26 Kern*

$$\Delta P = f * Gt^2 * L * n / 5,22 * 10^{10} * D * s * \phi t$$

Con s y $\phi = 1$

$\Delta P_t = 3,54$ lb/pulg^2

$$\Delta Pr = (4 * n / s) * (V^2 / 2g)$$

g = 32,2 pie/s^2 *Ac. De gravedad*

$\Delta Pr = 2,87$ lb/pulg^2

$\Delta P_T = 6,41$ lb/pulg^2 *0,44 atm*

CARCASA:

$$Ret = Dc * Gc / \mu$$

De = 0,06 pie
 μ = 242 lb/pie*h
 Gc = 646.265,00 lb/h*pie^2

Ret = 162,46

f = 0,0021 pie^2/pulg^2 *fig 29 Kern*

Numero de Cruces:

$$N+1=12*L/B$$

$$N+1 = 29,53$$

$$Dc = 1,27 \text{ pie}$$

$$\Delta P_c = f * G_c^2 * D_c * (N+1) / (5,22 * 10^{10} * D_e * s * \phi t)$$

$$\Delta P_c = 10,36 \text{ lb/pulg}^2 \text{ psi} \quad 0,71 \text{ atm}$$

❖ C.5: FILTRO PRENSA

Datos:

Tiempo de Filtración:	Tf =	0,5	h	
Volumen a filtrar:	Vf =	10,77	m ³	
	pH =	8,5		1 atm = 101.325,03 N/m ²
	ΔP =	6	atm	

$$A = ((R \cdot \mu \cdot C \cdot V^2) / (2 \cdot \Delta P \cdot T_f))^{0,5}$$

$$R = 0,5 \cdot \alpha$$

$$\alpha = 1,32 \cdot (-1,06 \cdot \text{pH}^2 + 10,19 \cdot \text{pH} - 3,46) \cdot \Delta P^{0,756}$$

Donde:

V: Volumen a filtrar, m³

Tf: Tiempo de filtración, s

μ: Viscosidad de la mezcla, Kg/m*s

A: Area total de filtración, m²

α: Resistencia especifica de la torta, m/Kg

R: Resistencia especifica del medio filtrante, 1/m

C: Masa de torta (sólidos secos), por volumen de filtrado, Kg/m³

ΔP: Caída de presión, N/m²

V =	10,77
Tf =	1.800,00
μ =	0,10
α =	20.452.363.472,14
R =	10.226.181.736,07
C =	173,68
ΔP =	607.950,18

$$A = 97,05 \quad \text{m}^2$$

$$A \text{ sobred.} = 116 \quad \text{m}^2$$

❖ C.6: BOMBAS

➤ Descripción Servicio.

B1: Bomba de estanque de extracción 1
 B2: Bomba de estanque de extracción 2
 B3: Bomba de salida de filtro prensa
 B4: Bomba de estanque de Almacenamiento 1
 B5: Bomba de estanque de Almacenamiento 2
 B6: Bomba de pozo (rio)
 B7: Bomba de estanque de KCl al 15%
 B8: Bomba impulsora hacia el tamizador Húmedo
 B9: Bomba estanque de KCl agotado
 B10: Bomba estanque cloro comercial

➤ Criterios, Relaciones y Fórmulas.

$$v^2/2gc + P/\rho + g*z/gc = B = \text{cte} = \quad B1=B2 + hf + w \quad \text{pot} = -w*ro*Q/efic \quad 1hp = 550\text{pie}*\text{lbf}/s$$

$$Q = A*V$$

$$60\%efic$$

$$(-w) = DP/ro + DV^2/2*gc$$

sin perdidas y con carga y descarga a la misma altura

$$hf = fd*(L/D)*(v^2/2gc)$$

$$Re = Dv\rho/\mu$$

$$\text{rug relativa} = e/d$$

$$v = d/2 + 4 \quad d, \text{ en plg}$$

$$vr \quad 4-8 \text{ pie/s}$$

hasta 15 en cañerías cortas y rectas

vs => 1/2 vd 1/3 para flujos de agua

o líquidos de baja densidad

$$1m^3 = 35,315 \quad \text{pie}^3 \quad 1000 \text{ kg} = 2204,62 \text{ lb}$$

$$1m = 3,28 \quad \text{pie}$$

$$1cp = 0,000672$$

Para:

Bomba	Vol (m ³)	Tiempo (h)	Caudal (pie ³ /s)	Veloc (pie/s)	Diam (pie)	D.Nomal (pulg)	ρ (lb/pie ³)	tipo cañería	Re
B1,B2	10,77	0,25	0,42	10	0,23	3	67,05	AISI 304	74478,19
B3	7,24	0,25	0,28	10	0,19	2	64,38	AISI 305	58632,83
B4,B5	7,54	0,25	0,30	10	0,19	2	64,38	AISI 306	59834,72
B6	83,44	1,00	0,82	10	0,32	3,5	62,43	ASTM °A 53	9649680,70
B7	6,79	0,17	0,40	10	0,23	3	73,44	AISI 308	3172322,22
B8	34,69	0,42	0,82	10	0,32	3,5	65,56	AISI 309	3611,32

$$gc = 32,20$$

$$1 HP = 550,00 \quad \text{lbf}*\text{pie}/s$$

Bomba	ϵ/d	f	Lequiv	Z1	Z2	Se considera para efecto de calculos:		
B1,B2	0,0018	0,025	32,8	0,6	0,6	Lequiv =	10	m
B3	0,003	0,028	32,8	0,6	0,6	pozo Lequiv =	150	m
B4,B5	0,003	0,028	32,8	0,6	0,6	v =	10	pie/s
B6	0,0005	0,017	492	0,6	10	Ef bomba	0,7	
B7	0,0018	0,024	32,8	0,6	0,6	Z1 =	0,6	m
B8	0,0015	0,045	32,8	0,6	4			

$$P = -w \cdot \text{den} \cdot Q / \text{efic}$$

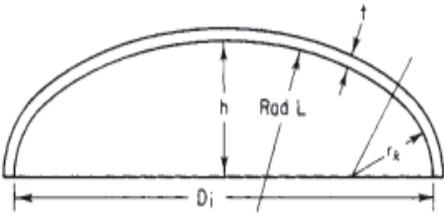
Bomba	hf	(-w) (lbf*pie/lbm)	P (pie*lbf/s)	P (HP)	P estand
B1,B2	5,49	7,04	332,62	0,60	1 HP
B3	7,50	9,05	275,94	0,50	1 HP
B4,B5	7,35	8,90	282,59	0,51	1 HP
B6	39,05	50,00	4.258,35	7,74	8 HP
B7	5,42	6,97	340,96	0,62	1 HP
B8	7,11	12,06	1.076,31	1,96	2 HP

ANEXO D

Tablas, Gráficas y Datos Bibliográficos.

i. Volumen Cabezal Toriesferico (Tabla 10-65. Vol.II Perry Ed. Séptima)

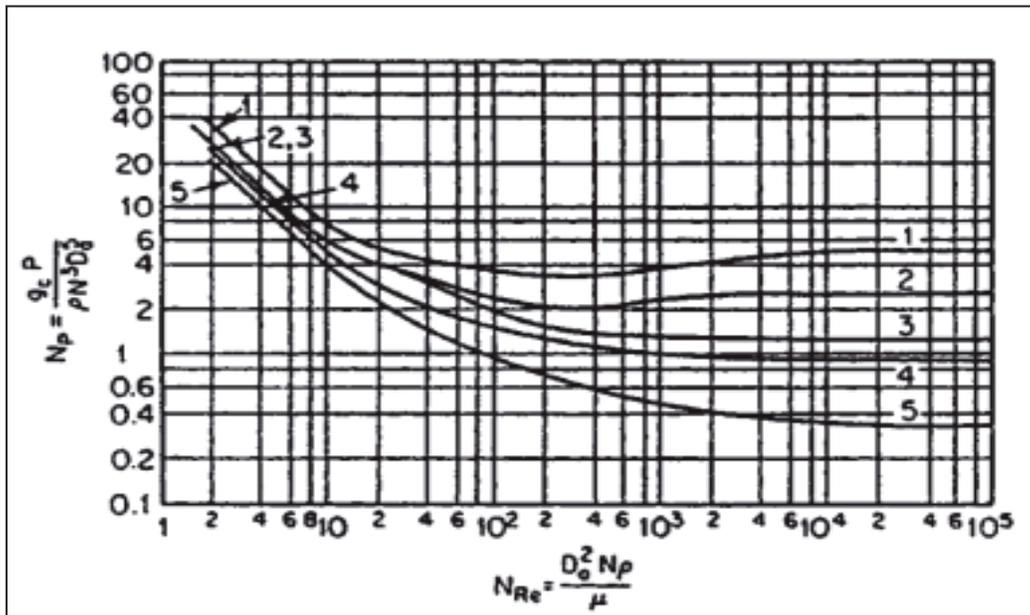
TABLE 10-65 Volumes of Heads*



Type of head	Knuckle radius, r_k	h	L	Volume	% Error	Remarks
Standard dished	Approx. $3t$		Approx. D_i	Approx. $0.050D_i^3 + 1.65tD_i^2$	± 10	h varies with t
Torispherical or A.S.M.E.	$0.06L$		D_i	$0.0809D_i^3$	} ± 0.1 ± 8	r_k must be the larger of $0.06L$ and $3t$
Torispherical or A.S.M.E.	$3t$		D_i	Approx. $0.513hD_i^2$		
Ellipsoidal		$D_i/4$		$\pi D_i^3 h/6$	0	Standard proportions
Ellipsoidal		$D_i/2$		$\pi D_i^3/24$	0	
Hemispherical		$D_i/2$	$D_i/2$	$\pi D_i^3/12$	0	Truncated cone h = height d = diameter at small end
Conical				$\pi h(D_i^2 + D_i d + d^2)/12$	0	

*Use consistent units.

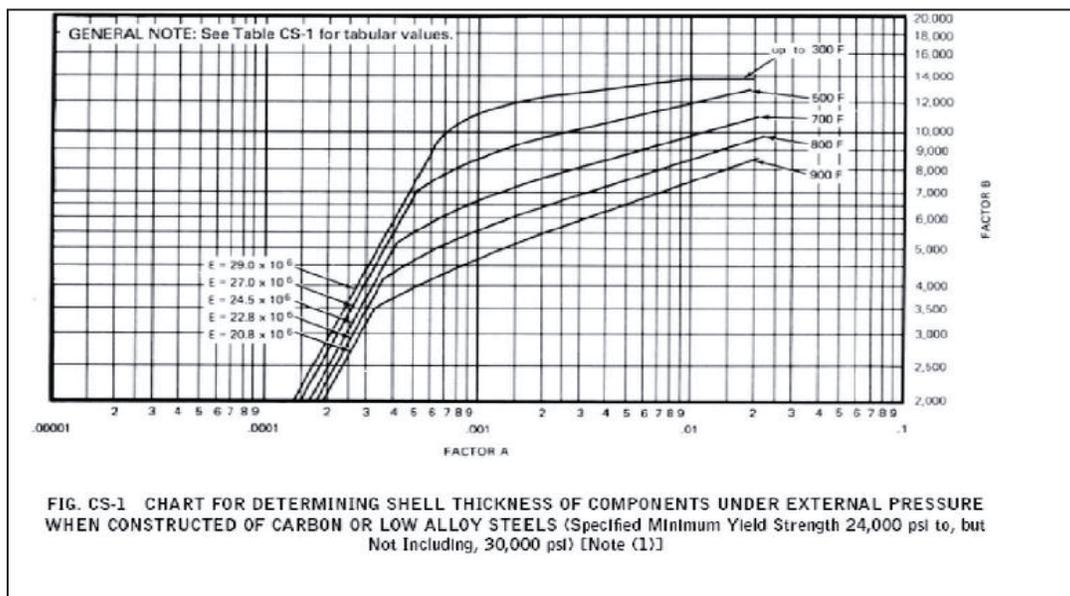
ii. Número de Potencia, N_p (Fig.18-17 Vol.II Perry Ed. Séptima)



iii. Coeficiente de Transferencia de Calor (Tabla 8. Kern Ed. Trigésima Primera Reimpresión)

Fluido caliente	Fluido frío	U_D total
Vapor de agua	Agua	200-700 ⁴
Vapor de agua	Metanol	200-700 ⁴
Vapor de agua	Amoniaco	200-700 ⁴
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 ⁴
Vapor de agua	Sustancias orgánicas ligeras	SO-100
Vapor de agua	Sustancias orgánicas medias	100-200
Vapor de agua	Sustancias orgánicas pesadas	S-SO
Vapor de agua	Gases	5-50 ⁶

iv. **Factor de Forma (Fig. CS-1 Kern Ed. Trigésima Primera Reimpresión)**
<http://es.scribd.com/doc/17247549/disen-y-calculo-de-recipientes-a-presion>



v. Disposición de los Espejos de Tubos (Tabla 9. Kern Ed. Trigésima Primera Reimpresión)

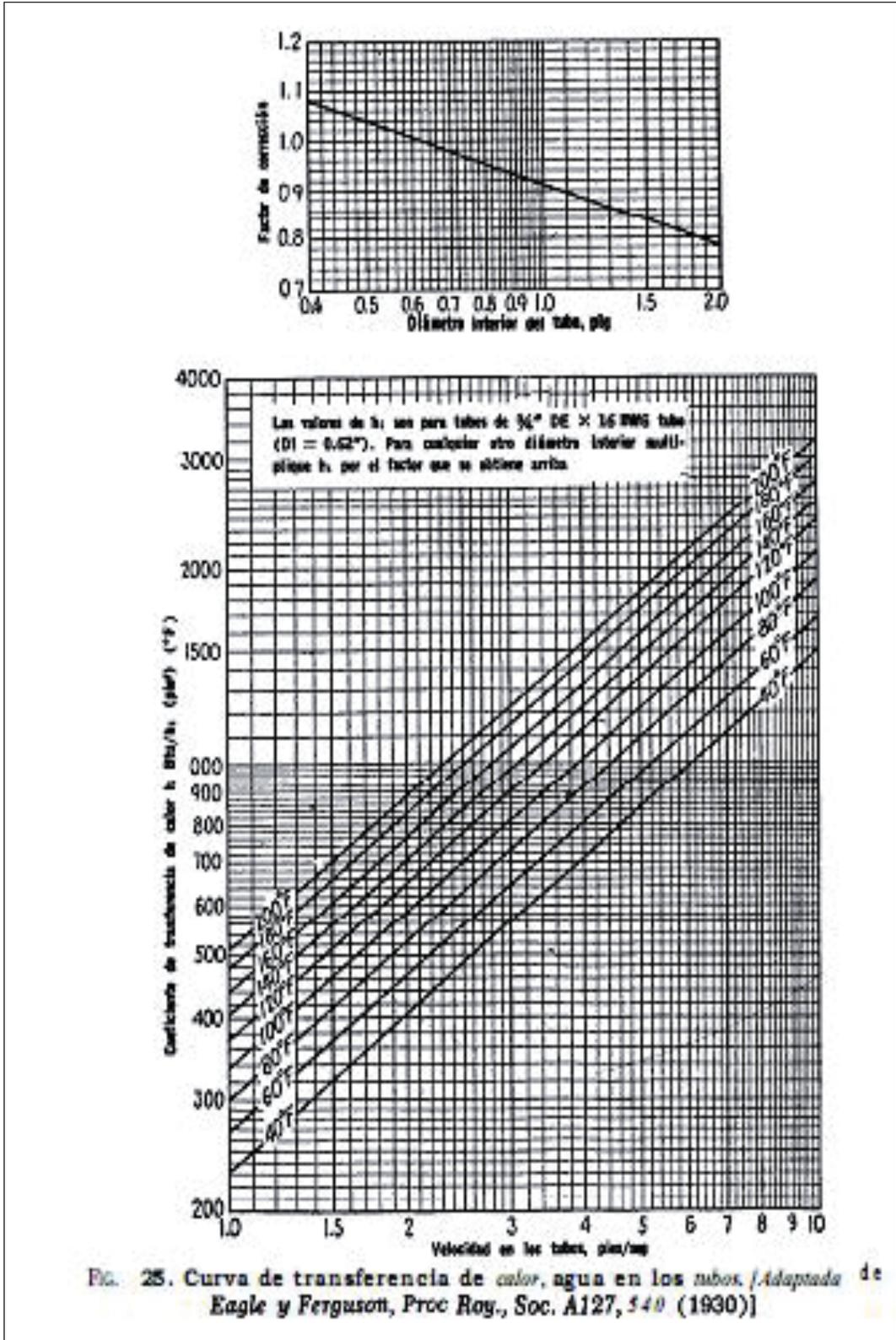
TABLA 9. DISPOSICION DE LOS ESPEJOS DE TUBOS (CUENTA DE TUBOS. (Continúa). ARREGLO TRIANGULAR

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	35	32	26	24	18	8	37	30	24	24	
10	62	56	47	42	35	10	61	52	40	36	
12	109	98	86	82	73	12	92	82	76	74	70
13 1/4	127	114	96	90	85	13 1/4	109	106	86	82	74
15 1/4	170	160	140	136	125	15 1/4	151	138	122	118	110
17 1/4	239	224	194	188	173	17 1/4	203	196	178	172	166
19 1/4	301	282	252	244	231	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	361	23 1/4	384	376	352	342	328
25	532	506	468	446	431	25	470	452	422	394	382
27	637	602	550	536	524	27	559	534	488	474	464
29	721	682	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	850	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	912	886	870
39	1377	1330	1268	1248	1212	39	1206	1176	1128	1100	1078
Tubos de 1" DE, arreglo triangular de 1 1/16 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	58	56	52	48	46
13 3/8	68	66	58	54	52	15 1/4	74	72	66	62	58
15 1/4	91	86	80	74	72	17 1/4	99	96	90	84	82
17 1/4	131	118	106	104	94	19 1/4	131	126	120	114	110
19 1/4	163	152	140	136	128	21 1/4	163	158	152	146	142
21 1/4	199	188	170	164	160	23 1/4	199	194	188	182	178
23 1/4	241	232	212	212	202	25	241	236	230	224	220
25	284	282	256	252	242	27	284	280	274	268	264
27	349	334	302	296	286	29	349	344	338	332	328
29	397	376	338	334	318	31	397	392	386	380	376
31	472	454	430	424	400	33	472	466	460	454	450
33	538	522	486	470	454	35	538	532	526	520	516
35	608	592	562	546	532	37	608	602	596	590	586
37	674	664	632	614	598	39	674	668	662	656	652
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	213	206	200	190	184						
35	246	238	230	220	215						
37	275	268	260	252	246						
39	307	298	290	284	275						

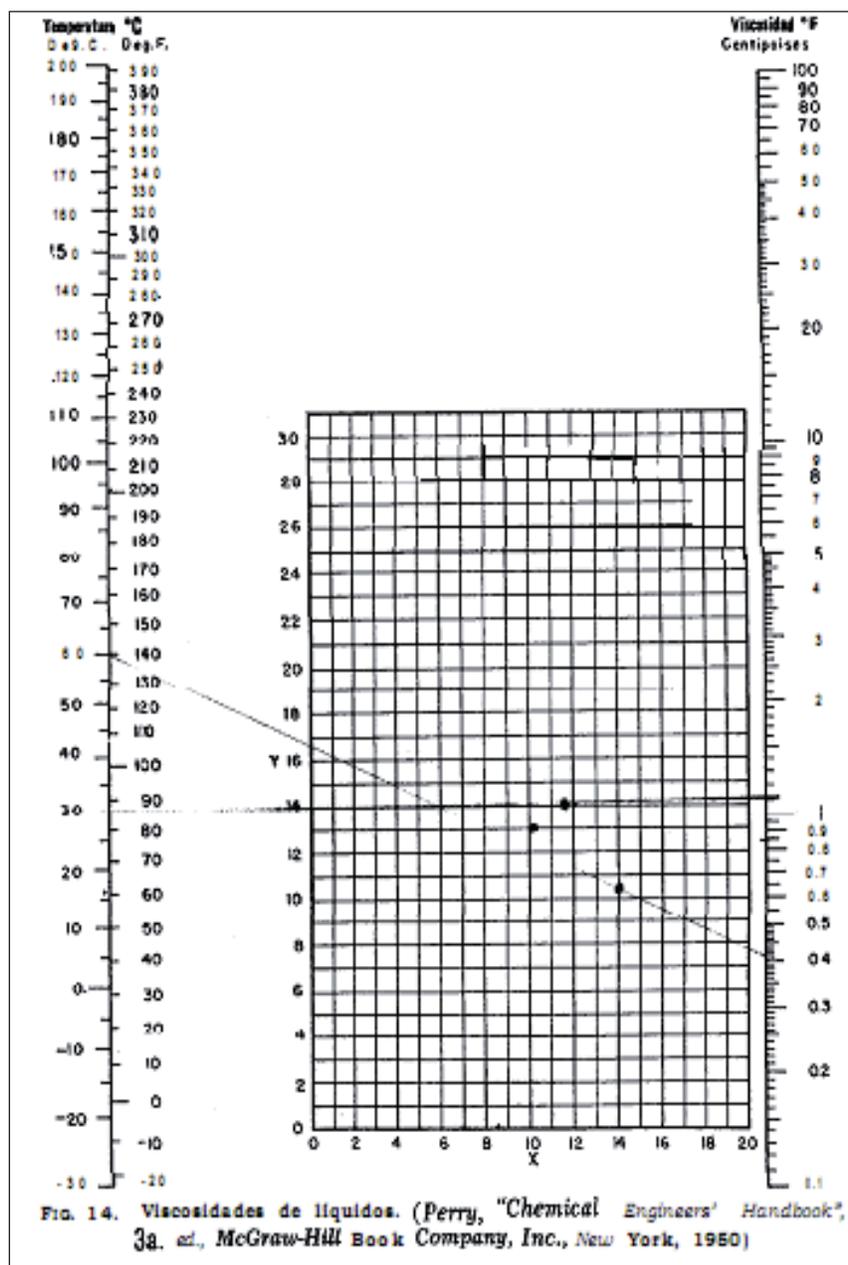
vi. Datos de Tubos (Tabla 10. Kern Ed. Trigésima Primera Reimpresión)

TABLA 10. DATOS DE TUBOS PARA CONDENSADORES E INTERCAMBIADORES DE CALOR							
Tubo DE, plg	BWG	Espesor de la pared,	DI, plg	Área de flujo por tubo, plg ²	Superficie por pie lin. pies ²		Peso por pie lineal, lb, de acero
					Exterior	Interior	
3/8	12	0.109	0.282	0.0625	0.1309	0.0748	0.493
	14	0.083	0.334	0.0876			0.403
	16	0.065	0.370	0.1076			0.329
	18	0.049	0.402	0.127			0.258
	20	0.035	0.430	0.145			0.190
1/2	10	0.134	0.462	0.162	0.1963	0.1263	0.965
	11	0.120	0.510	0.204			0.884
	12	0.109	0.532	0.223			0.817
	13	0.095	0.560	0.247			0.727
	14	0.083	0.584	0.268			0.647
	15	0.072	0.606	0.289			0.571
	16	0.065	0.620	0.302			0.520
	17	0.058	0.634	0.314			0.469
	18	0.049	0.652	0.334			0.401
1	8	0.165	0.670	0.355	0.2618	0.1754	1.61
	9	0.148	0.704	0.389			1.47
	10	0.134	0.732	0.421			1.36
	11	0.120	0.760	0.455			1.23
	12	0.109	0.782	0.479			1.14
	13	0.095	0.810	0.515			1.03
	14	0.083	0.834	0.546			0.950
	15	0.072	0.856	0.576			0.781
	16	0.065	0.870	0.594			0.710
17	0.058	0.884	0.613	0.639			
18	0.049	0.902	0.639	0.545			
1 1/8	8	0.165	0.920	0.665	0.3271	0.2409	2.09
	9	0.148	0.954	0.714			1.91
	10	0.134	0.982	0.757			1.75
	11	0.120	1.01	0.800			1.59
	12	0.109	1.03	0.838			1.45
	13	0.095	1.06	0.884			1.28
	14	0.083	1.08	0.923			1.13
	15	0.072	1.11	0.960			0.991
	16	0.065	1.12	0.985			0.900
17	0.058	1.13	1.01	0.808			
18	0.049	1.15	1.04	0.708			
1 1/2	8	0.165	1.17	1.075	0.3925	0.3063	2.57
	9	0.148	1.20	1.14			2.34
	10	0.134	1.23	1.19			2.14
	11	0.120	1.26	1.25			1.98
	12	0.109	1.28	1.29			1.77
	13	0.095	1.31	1.35			1.56
	14	0.083	1.33	1.40			1.37
	15	0.072	1.36	1.44			1.20
	16	0.065	1.37	1.47			1.09
17	0.058	1.38	1.50	0.978			
18	0.049	1.40	1.54	0.831			

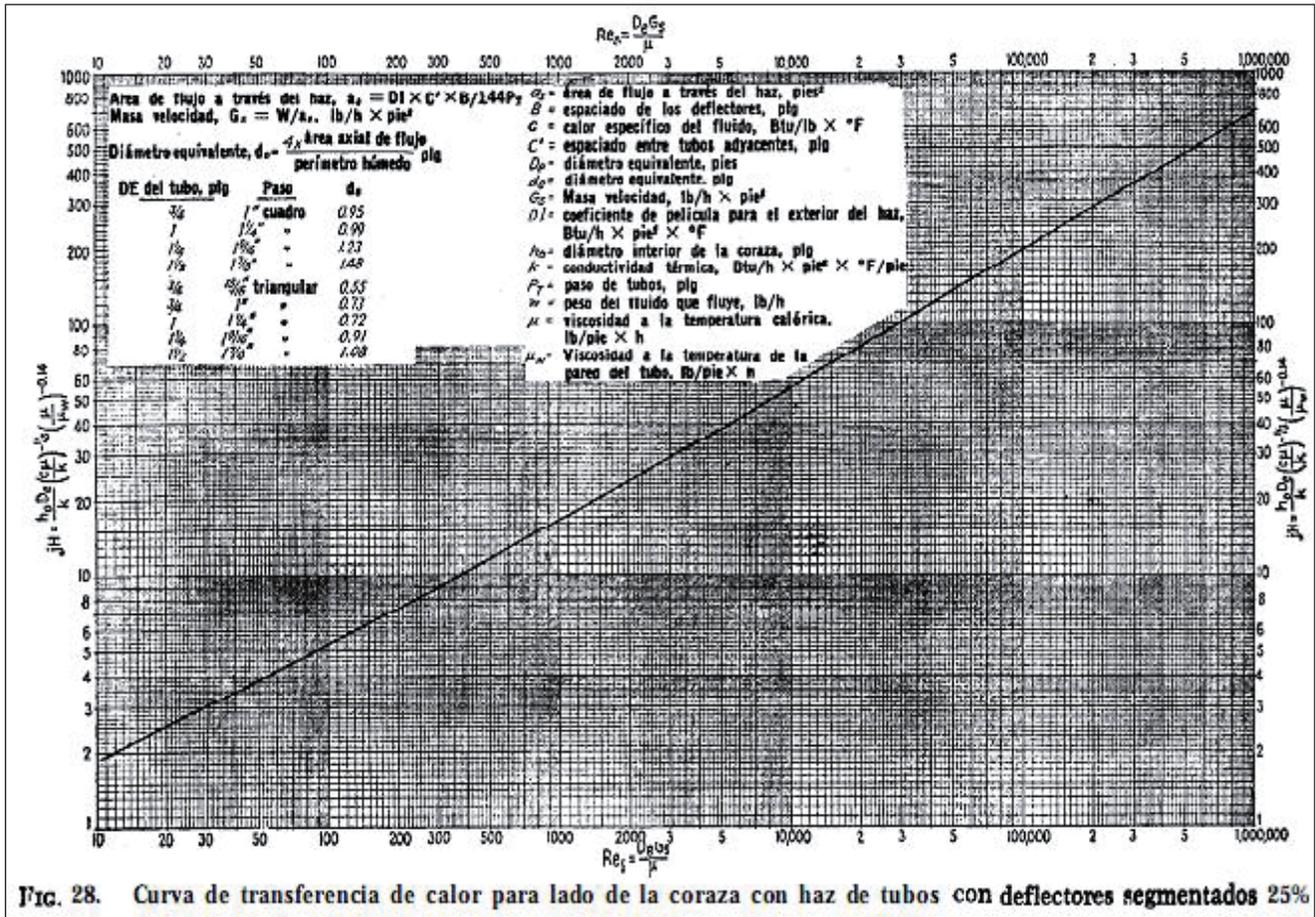
vii. Curva de Transferencia de Calor, Agua en los Tubos (Fig.25 Kern Ed. Trigésima Primera Reimpresión)



viii. Viscosidades de líquidos (Fig.25 Kern Ed. Trigésima Primera Reimpresión)



ix. Curva de Transferencia de Calor, Carcasa (Fig.28 Kern Ed. Trigésima Primera Reimpresión)



x. Conductividades Térmicas de Líquidos (Tabla 4. Kern Ed. Trigésima Primera Reimpresión)

TABLA 4. CONDUCTIVIDADES TERMICAS DE LIQUIDOS *

$$k = \frac{1}{(h)(\text{pie}^2)} (\text{°F}/\text{pie})$$

Puede suponerse una variación lineal con la temperatura. Los valores extremos que se dan constituyen también los límites de temperatura en los cuales se recomiendan los datos.

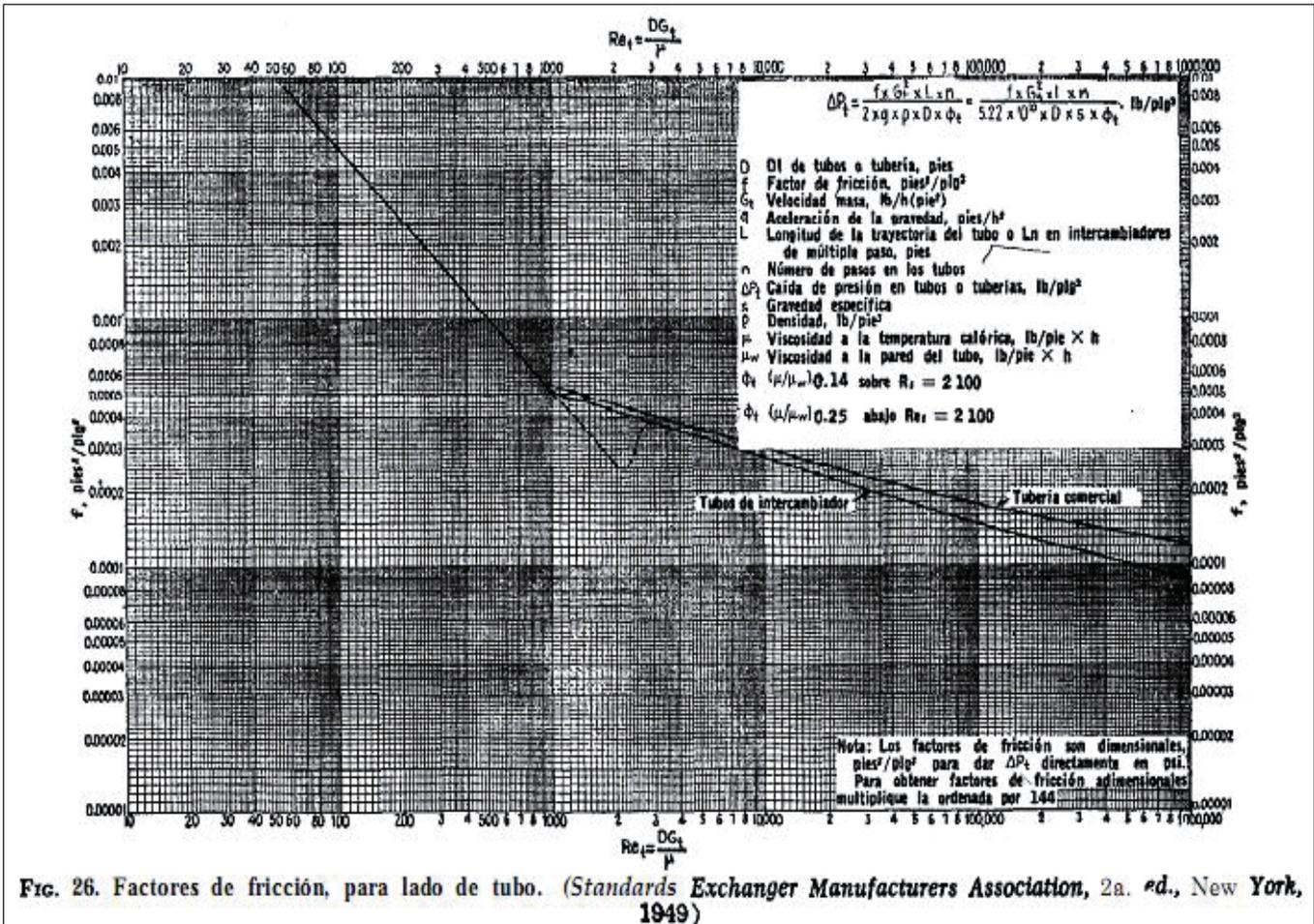
Líquido	°F	k	Líquido	°F	k
Acetato de amilo	88	0.104	Bromobenceno	88	0.074
Ricino	212	0.080	Clorobenceno	212	0.070
Oliva	88	0.097	Clorobenceno	88	0.108
Acetato de amilo	212	0.095	Bisulfuro de carbono	88	0.111
Alcohol 100%	88	0.105	Tetracloruro	88	0.092
80%	88	0.137		107	0.083
60%	88	0.178	Cloruro de calcio, salmuera 30%	32	0.107
40%	88	0.234		154	0.094
20%	88	0.381	Cloruro de sodio, salmuera 15%	88	0.33
100%	122	0.657	Cloruro de sodio, salmuera 25.0%	88	0.34
Benceno	88	0.086		88	0.34
Bromuro	140	0.082	Clorobenceno	88	0.083
Eter	88	0.070	Clorobenceno	88	0.080
Yoduro	88	0.080	Cymeno (para)	88	0.078
Acetato de amilo	167	0.078	Decano (n-)	140	0.079
Alcohol (n-)	104	0.064	Diclorodifluorometano	88	0.085
	107	0.053		140	0.083
Acetato butílico (n-)	80	0.083		30	0.057
Alcohol (n-)	80	0.094		80	0.053
	212	0.089		100	0.048
(iso-)	88	0.088		140	0.042
Acetona	167	0.087	Dicloroetano	180	0.038
Acido acético 100%	77-86	0.085	Diclorometano	122	0.032
80%	80	0.097		5	0.111
60%	167	0.085	Eter de petróleo	88	0.096
40%	88	0.081		88	0.07
20%	88	0.102	Etilen glicol	167	0.073
100%	167	0.085	Gasolina	32	0.153
Acido acético 80%	88	0.090	Glicerina 100%	88	0.072
60%	88	0.20		88	0.164
40%	88	0.0706	Glicerina 80%	88	0.189
20%	212	0.102	60%	88	0.220
Acido acético 100%	212	0.0825	40%	88	0.259
Acido acético 80%	212	0.0825	20%	88	0.278
Acido acético 60%	88	0.21	100%	212	0.164
Acido acético 40%	88	0.25	Heptano (n-)	88	0.081
Acido acético 20%	88	0.30	Hexano (n-)	140	0.079
Agua	32	0.320		88	0.080
	88	0.156	Kerosena	140	0.078
	140	0.381		88	0.086
	175	0.398	Mercurio	167	0.081
Alcohol alílico	77-86	0.104	Nitrobenceno	88	4.83
Alcohol heptílico (n-)	88	0.094	Nitrobenceno	212	0.088
Alcohol hexílico (n-)	88	0.091	Nitrometano	88	0.125
Alcohol metílico 100%	167	0.09	NONANO (n-)	140	0.120
80%	88	0.134		88	0.084
60%	88	0.151	Cetano (n-)	140	0.082
40%	88	0.180	Paraldehído	88	0.081
20%	88	0.234	Pentano (n-)	212	0.084
100%	122	0.384		88	0.078
Cloruro	5	0.114		167	0.074
Alcohol propílico (n-)	88	0.091	Percloroetileno	122	0.082
Alcohol (iso-)	88	0.099	Sodio	212	49
Amoniaco	167	0.087		410	46
Amoniaco, acuoso, 26%	88	0.091	Tolueno	88	0.086
Anilina	140	0.096		167	0.084
Benceno	5-86	0.29	n-ticloroetano	122	0.077
	88	0.201	Tricloroetileno	122	0.080
	140	0.28	Vanilina (aguarrás)	88	0.074
	133-86	0.100	Vanilina	88	0.108
	88	0.092	Xileno (orto-)	88	0.090
	140	0.087	Xileno (meta-)	88	0.090

* D. C. Perry, J. H., "Chemical Engineers' Handbook", 3^a ed., McGraw-Hill Book Company Inc., New York, 1950.

xi. Factores de Obstrucción (Tabla 12. Kern Ed. Trigésima Primera Reimpresión)

TABLA 12. FACTORES DE OBSTRUCCION * (Continúa)			
Gases de escape de máquinas Diesel	0.01	Unidades de destilación atmosférica :	
Vapores orgánicos	0.0005	Vapores superiores sin tratar	0.0013
Vapor (sin aceite)	0.0	Vapores superiores tratados	0.003
Vapores de alcohol	0.0	Cortes intermedios	0.0013
Vapor, de escape (con aceite)	0.001	Unidades de destilación al vacío :	
Vapores refrigerantes (condensando de compresores recíprocos)	0.002	Vapores superiores a aceite :	
Aire	0.002	De la torre de burbujeo (condensador parcial)	0.001
Vapores superiores en condensadores enfriados por agua:		Del tanque flash (sin reflujo apreciable)	0.003
De la torre de burbujeo (condensador final)	0.001	Aceite delgado	0.002
Del tanque flash	0.04	Vapores superiores	0.001
Cortes intermedios :		Gasolina	0.0005
Aceite	0.001	Debutanizador, Depropanizador, Depentanizador y unidades de Alkilación:	
Para agua	0.002	Alimento	0.001
Fondos residuales, menos de 20" API	0.005	Vapores superiores	0.001
Fondos residuales, más de 20" API	0.002	Enfriadores de producto	0.001
Estabilizador de gasolina natural :		Calderetas de producto	0.002
Alimento	0.0005	Alimento del reactor	0.002
Vapores superiores	0.0005	Unidades de tratamiento de lubricantes :	
Enfriadores de producto e intercambiadores	0.0005	Alimento de aceite solvente	0.002
Calderetas de producto	0.001	Vapores superiores	0.001
Unidades de eliminación de HS:		Aceite refinado	0.001
Para vapores superiores	0.001	Intercambiadores calentadores de aceite refinado enfriados por agua ↓	0.003
Intercambiadores enfriadores de solución	0.0018	Gomas y breas:	
Caldereta	0.0018	Generadores de vapor enfriados por aceite	0.005
Unidades de Cracking:		Enfriados por agua	0.003
Alimento gas-oil :		Solvente	0.001
Menos de 500°F	0.002	Unidades desasfaltizadoras :	
500°F y más	0.003	Aceite de alimento	0.002
Alimento de nafta:		Solvente	0.001
Menos de 500°F	0.002	Asfalto y resina:	
Más de 500°F	0.004	Generadores de vapor enfriados por aceite.	0.005
Separador de vapores vapores del separador, tanque flash, y vaporizador)	0.006	Enfriados por agua.	0.003
		Vapores de solvente	0.001

xii. Factor de Fricción, Tubos (Fig.26 Kern Ed. Trigésima Primera Reimpresión)



xiii. Factor de Fricción, Carcasa (Fig.29 Kern Ed. Trigésima Primera Reimpresión)

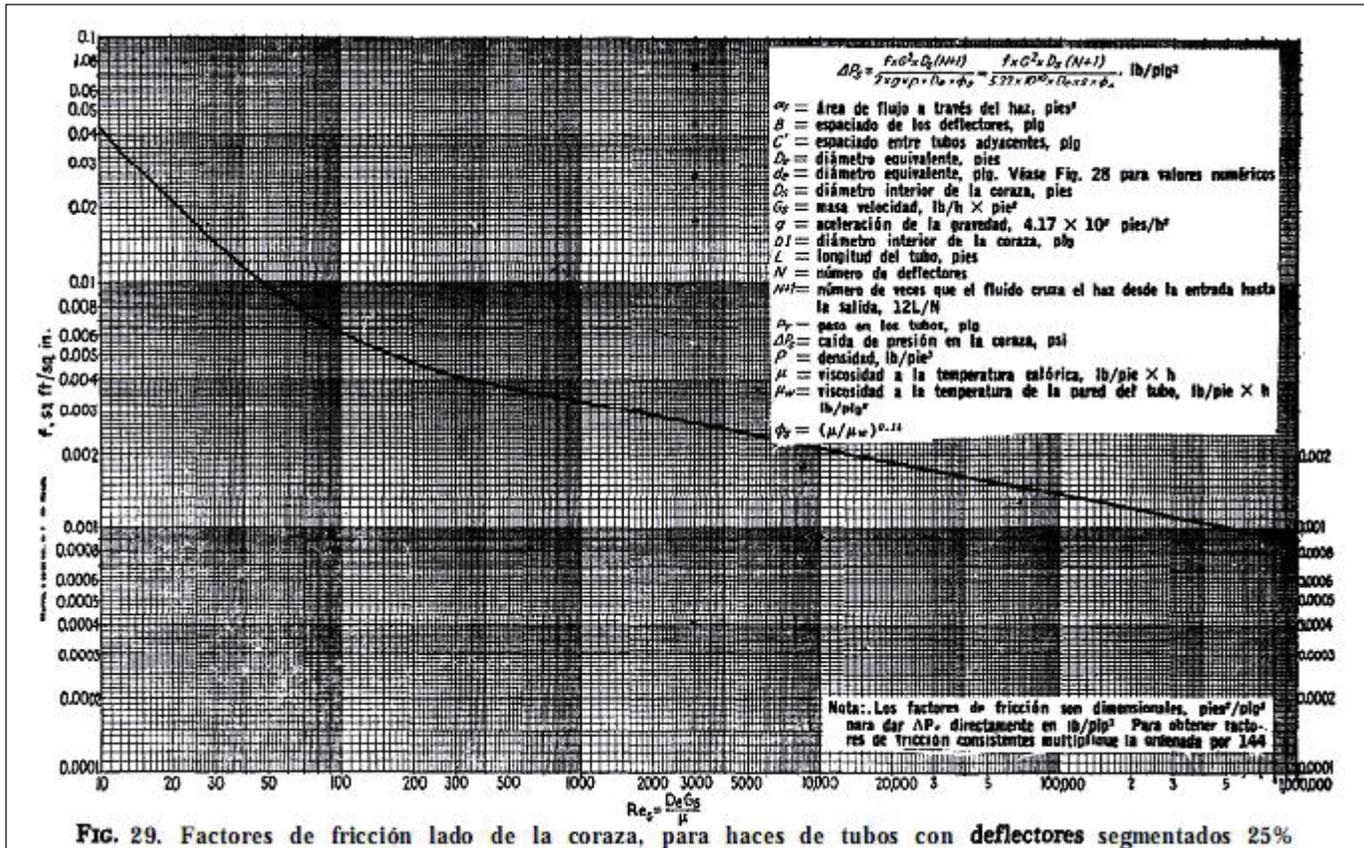


FIG. 29. Factores de fricción lado de la coraza, para haces de tubos con deflectores segmentados 25%