

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



PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL QUIMICO

**DISEÑO DE PLANTA PILOTO DE
TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS
PRODUCIDOS EN LA FAENA MINERA DE
BARRICK ZALDÍVAR.**

Patricio Guillermo Abarca Toro

Profesor Guía:
Carlos Carlesi Jara

2012

NUNCA TE DETENGAS

NUNCA TE DETENGAS

Siempre ten presente que la piel se arruga,
El pelo se vuelve blanco, los días se convierten en años...
Pero lo importante no cambia; tu fuerza y tu convicción no tienen edad.

Tu espíritu es el plumero de cualquier tela de araña.
Detrás de cada línea de llegada, hay una de partida.
Detrás de cada logro, hay otro desafío.

Mientras estés vivo, siéntete vivo.
Si extrañas lo que hacías, vuelve a hacerlo.
No vivas de fotos amarillas...

Sigue aunque todos esperen que abandones.
No dejes que se oxide el hierro que hay en ti.
Haz que en vez de lástima, te tengan respeto.

Cuando por los años no puedas correr, trota.
Cuando no puedas trotar, camina.
Cuando no puedas caminar, usa el bastón.

¡Pero nunca te detengas!!

Madre Teresa de Calcuta.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera empezar agradeciendo por todo este enorme esfuerzo a mi familia y personas cercanas a ella, ya que sin su apoyo y confianza jamás podría haber logrado cada una de mis metas propuesta hasta éste momento.

También quisiera mencionar de manera especial a mi mamá, mi papá mis hermanos y sus familias que me han ayudado en cuanto han podido y acompañado durante este largo periodo, el cual no finaliza con este libro, sino que solamente se cumple una etapa en mi vida y comienza otra, la de un joven profesional, etapa en la cual quisiera que siguieran siendo uno de los pilares fundamentales en mí.

También han sido una parte fundamental en todo esto mi polola, que siempre ha estado ahí cuando la he necesitado para brindarme todo su amor y apoyo, mis amigos, con los cuales compartí grandes momentos que nunca olvidaré y todas esas personas que han aportado de una u otra manera a concluir mi memoria.

Agradecer también a Barrick Zaldívar, en especial a la superintendencia de medio ambiente, que me dio la oportunidad de realizar esta memoria integrándome en cada uno de sus proyectos, también a las áreas de prevención de riesgo, al policlínico, construcción, proyecto, mejora continua y obviamente a los memorista practicantes y aprendices de todas las áreas, con los cuales conviví alrededor de un año conociendo y aprendiendo de cada uno de ellos. Por último a la empresa Resiter, con los que compartí cada fin de semana viendo este proyecto.

Muchas gracias a todos.

RESUMEN

La contaminación ambiental es uno de los principales problemas que aqueja a todo el mundo, es por esto que Barrick Zaldívar y su conciencia medio ambiental, ha pensado en disminuir la cantidad de contaminantes domésticos emitidos en su faena minera utilizando una degradación controlada de residuos, con esto se puede obtener un abono orgánico utilizable para el enriquecimiento de tierras y plantas. Este abono es conocido con el nombre de compost, el cual se puede obtener mediante diferentes procesos, entre los cuales se optó por realizar un compostaje en superficie con las modificaciones necesarias para poder mantener de mejor manera las condiciones optimas para el desarrollo del proceso como por ejemplo; la homogenización de la mezcla con una trituradora, considerar que la temperatura en el interior de la compostera posea un valor mínimo de 7°C (con lo cual mejorará la actividad microbiana), el diseño de un riego hidráulico para la humectación de la mezcla, la recuperación del lixiviado y la utilización de lombrices californianas en el proceso para mejorar las características de este compost y transformarlo en Vermicompost (proceso de compostaje con lombrices). Teniendo en cuenta las condiciones antes descritas es que se logró llegar al diseño de una compostera de 15.6cm de espesor, la cual posee una capa de 4mm de espesor de HDPE, un sistema de filtrado del lixiviado y un riego por aspersores. Con todo lo anterior se llegó a una estimación económica totalmente factible para la construcción de la planta de tratamiento de residuos logrando el objetivo principal del proyecto.

ABSTRACT

Environmental contamination is one of the main problems that affect the whole world, which is why Barrick Zaldívar and their environmental awareness have thought about lowering the amount of domestic contaminants produced in their mining facilities using controlled residual degradation, from which an organic fertilizer can be obtained so as to enrich plants and trees. This fertilizer is known as compost, which is obtained through different processes, but it was decided that they would use superficial composting with the necessary modifications so as to maintain optimal conditions for the development of the processes, for example: the homogenization of the mixture with a shredder; consider that the temperature inside the composting bin should be 7°C minimum (with which the microbial activity will improve); the design of a hydraulic irrigation so as to moisten the mixture; the recovery of lixiviation material and use of California worms in the process to improve the characteristics of the compost and transform it into Vermicompost (composting process with worms). After considering all the conditions just described, it was decided to use a 15.6cm thick composting bin design which possesses 4mm of HDPE, a filter for lixiviated material and a sprinkler system. Taking all of this into consideration, they reached a completely feasible economic estimation for the construction of a residual treatment plant, achieving the projects main objective.

ÍNDICE

NUNCA TE DETENGAS	1
AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN	3
ABSTRACT.....	4
ÍNDICE	5
CAPÍTULO I. OBJETIVOS E INTRODUCCIÓN	9
1.1 - Objetivo general	9
1.2 - Objetivos específicos	9
1.3 - Introducción	10
1.4 - Descripción de las actividades	11
CAPÍTULO II. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA	13
2.1 - Información general de la Empresa.....	13
2.2 - Información del proceso de la planta.....	14
2.2.1 - Extracción.....	14
2.2.2 - Chancadores y Almacenamiento de Material en Stock Pile	14
2.2.3 - Procesos Hidrometalúrgicos.....	16
2.3 - Ampliación de Barrick Zaldívar.....	26
2.3.1 - Monto de inversión	26
2.3.2 - Mano de obra	26
2.3.3 - Vida útil y descripción cronológica.....	27
2.3.4 - Fecha estimada de inicio de ejecución del proyecto	27
2.4 - Problemática a solucionar.....	27
2.5 - Clima de la región	29

CAPÍTULO III. NORMA CHILENA 2880.....	30
3.1 - Antecedentes generales de la norma chilena 2880.....	30
3.2 - Clasificación	31
3.2.1 - Compost Clase A.....	31
3.2.2 - Compost Clase B.....	32
3.2.3 - Compost inmaduro	32
3.3 - Características del Compost según Nch2880.....	32
3.3.1 - Reducción de Patógenos.....	32
3.3.2 - Metales pesados en el Compost	33
3.3.3 - Relación C/N (Carbono/Nitrógeno).....	34
3.3.4 - pH.....	34
3.3.5 - Madurez del Compost.....	34
3.3.6 - Impurezas	35
CAPÍTULO IV. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	36
4.1 - Información del proceso de Compostaje	36
4.2 - Materias primas para el Compost.....	36
4.3 - Etapas del proceso de Compostaje.....	38
4.4 - Factores que condicionan el Compostaje.	39
4.4.1 - Aireación.....	39
4.4.2 - Contenido de humedad.	39
4.4.3 - Relación C/N.	40
4.4.4 - Temperatura.....	41
4.4.5 - Población Microbiana.	41
4.4.6 - Materia orgánica.....	41
4.5 - Usos del Compost.....	43
4.6 - Características del proceso Aeróbico	44
4.7 - Lombricompost o Vermicompost	44
4.7.1 - Descripción del ciclo biológico de la Lombriz Californiana	45
4.7.2 - Condiciones necesarias para la vida de las lombrices	46
4.7.3 - Humus de Lombriz.....	47
4.7.4 - Influencia del humus en el suelo	49
4.8 - Lixiviados del proceso.....	50
4.9 - La Lombriz¹¹	51
4.9.1 - Rasgos externos.....	52

ÍNDICE

4.9.2 - Depredadores	54
4.10 - Tecnología disponible	56
4.10.1 - Compostaje en montón o pilas ¹³	56
4.10.2 - Compostaje en silos ¹⁴	58
4.10.3 - Compostaje en Superficie.....	59
4.10.4 - Compostaje con aireación forzada ¹⁵	60
 CAPÍTULO V. DATOS DE LA EMPRESA PARA EL PROYECTO COMPOST ...	62
 5.1 - Proyecto Compost de la Compañía Minera Zaldívar	64
 CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS ...	66
 6.1 - Cálculos para balancear los gases de la fermentación.	66
6.2 - Balance de Masa	68
6.3 - Balance de Energía	72
6.4 - Cálculo de espesor de pared	75
6.5 - Cálculo Riego Hidráulico.....	82
6.5.1 - Reducciones	86
6.5.2 - Pérdidas Menores.....	93
 CAPÍTULO VII. ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LA PLANTA.....	107
 7.1 - Aspectos generales para la estimación económica.....	107
7.2 - Para una construcción civil completa en hormigón armado	108
7.2.1 - Materiales para el riego hidráulico	109
7.2.2 - Enfierradura del hormigón	109
7.3 - Para una construcción civil con bloques de cemento.....	111
 CAPÍTULO VIII. CONCLUSIÓN.....	114
 CAPÍTULO IX. RECOMENDACIONES	118
 9.1 - Medición de pH.....	118
9.2 - Medición de Temperatura.....	119

ÍNDICE

9.3 - Medición de Humedad	120
CAPÍTULO X. ANEXOS.....	122
CAPÍTULO XI. BIBLIOGRAFIA.....	129

CAPÍTULO I. OBJETIVOS E INTRODUCCIÓN

1.1 - Objetivo general

Obtener una disminución en la cantidad de residuos domésticos generados en la faena de la Compañía Minera Zaldívar los cuales son enviados a un tratamiento externo, mediante un proceso de compostaje, obteniendo como beneficio, la utilización de este sub producto como abono orgánico.

1.2 - Objetivos específicos

1. Obtener parámetros operacionales: tasa de evaporación, temperatura y humedad.
2. Definir parámetros trascendentes para ser considerados en la simulación del proceso.
3. Obtención de una estimación del proceso de compostaje, verificando los productos secundarios que se encuentran en la reacción.
4. Diseñar un tratamiento de residuos enfocado en las condiciones climáticas presentadas en la faena minera.
5. Análisis económico de la infraestructura del proceso.

1.3 - Introducción

La contaminación es uno de los grandes problemas que aqueja a todo nuestro planeta, es por ello que es necesario realizar diferentes estudios para disminuir la cantidad de elementos contaminantes a nuestro entorno.

La contaminación es el resultado de los usos inadecuados de nuestros recursos naturales, lo cual ha provocado un deterioro a nuestro medio ambiente.

Existen 3 tipos más comunes de contaminación; Contaminación del aire, suelo, agua²³.

- La primera de estas es básicamente producida por las emisiones de gases y polvos que afectan nuestra salud como por ejemplo el dióxido de carbono.
- La contaminación del suelo es producida por algunas sustancias extrañas a la composición de éste, también se puede decir que los desechos, tanto de humanos como de las fábricas, ayudan a la proliferación de microorganismos y animales que puedan tener alguna especie de virus perjudicial para la salud.
- La contaminación del agua se origina debido a la existencia de mareas rojas, desechos humanos que llegan directamente a los ríos y luego al mar, estos pueden ser de materia biológica (basura vegetal), química (detergentes) o física (polvo)

Durante el desarrollo de este proyecto se buscará disminuir la cantidad de residuos sólidos domésticos enviados a tratamiento externo, ayudando así a disminuir en un pequeño porcentaje la posible contaminación de los suelos y las aguas.

CAPÍTULO I. OBJETIVOS E INTRODUCCIÓN

Para bajar la cantidad de residuos sólidos domésticos, existen diferentes procesos enfocados en utilizar materia orgánica y realizar una degradación controlada a ciertas condiciones de operación, con lo cual es posible obtener un producto para mejorar las propiedades de los suelos.

Los capítulos que se detallan a continuación están enfocados en analizar el proceso antes mencionado y generar las condiciones necesarias para poder obtener un producto de calidad y un alto porcentaje de conversión, ya que las condiciones climáticas presentadas en la faena minera no son las más adecuadas para el proceso.

Finalmente se puede ver el diseño completo del proceso con las condiciones que se lograron generar de forma teórica, además se especifica una estimación económica para la construcción de la planta de compostaje.

1.4 - Descripción de las actividades

Se buscará la información necesaria sobre las condiciones que presenta la faena de la Compañía Minera Zaldívar, ya sea de temperatura, humedad, tasa de evaporación, cantidad de personas en faena, entre otros. Estos datos servirán para el diseño del proceso.

Se hará una búsqueda más amplia de las características principales del compostaje, condiciones necesarias, propiedades, etc. Con esto se tendrá una visión mucho más clara de las de los parámetros críticos de este proceso.

Se obtendrá de la norma chilena 2880 las características que debe poseer este producto para ser considerado Compost en Chile.

CAPÍTULO I. OBJETIVOS E INTRODUCCIÓN

Se indagará acerca de las diferentes alternativas de producción de Compost y Vermicompost, con las cuales se obtendrán los parámetros operacionales de cada proceso.

Se seleccionará un proceso de compostaje y se procederá a realizar un balance de masa y de energía según corresponda, en donde se determinará y dimensionará la envergadura de los sistemas requeridos.

Con toda la información ya obtenida, se procederá a hacer un diseño de equipo de compostaje buscando el más adecuado a las características y necesidades del clima de la faena minera.

Se buscará la posibilidad de construir un sistema de riego hidráulico para hacer más automática la adhesión de agua al proceso, esto dependerá de las necesidades en el desarrollo de este proyecto.

Al concluir el riego hidráulico del proceso se ideará una manera para mantener el calor y recuperar el agua que son esenciales en el desarrollo de este producto.

Luego se desarrollará un análisis económico de la planta de compostaje con la búsqueda de proveedores de insumos y tecnologías, en donde se incluirán el monto de inversión, costo de equipos, etc.

CAPÍTULO II. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

2.1 - Información general de la Empresa

El yacimiento de cobre de Barrick - Zaldívar se encuentra ubicado en la precordillera de la Región de Antofagasta, a 175 kilómetros de dicha ciudad y a más de 3.000 m.s.n.m, en la figura 2.1 se ve aproximadamente la ubicación de ésta.

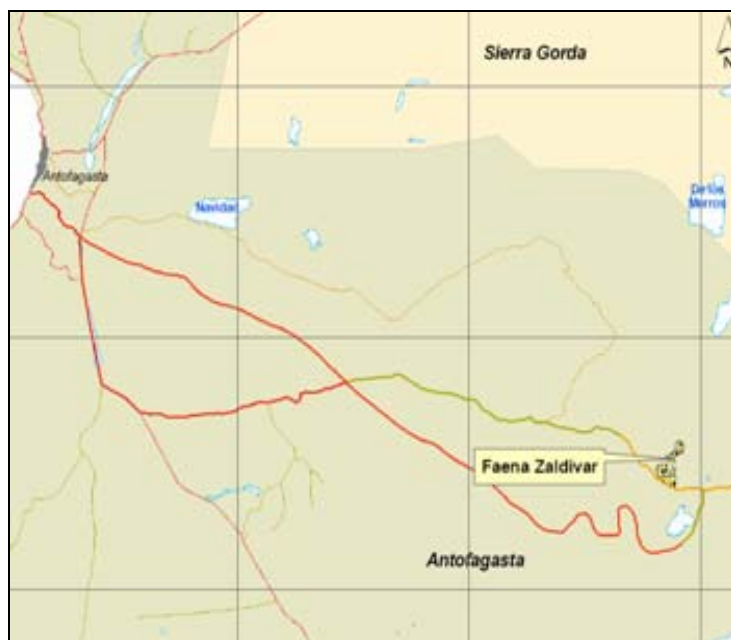


Figura 2.1 Imagen del camino hacia la faena minera

Zaldívar tiene una capacidad de producción de 125.000 toneladas y comenzó la elaboración de cátodos de cobre de alta pureza en junio de 1995. La producción de estos cátodos representa el 98% de la producción de cobre fino total, siendo el resto, concentrado del mineral, el cual se vende en fundiciones locales de Chile¹.

2.2 - Información del proceso de la planta

El proceso desarrollado en la Compañía Minera Zaldívar se caracteriza por los siguientes procedimientos:

2.2.1 - Extracción

La Compañía Minera Zaldívar, perteneciente a Barrick Gold Corporation, utiliza una explotación a rajo abierto en bancos. La extracción del material total autorizada es de aproximadamente 140.000 toneladas por día, a excepción de los primeros cinco años de operación en donde esta extracción fue autorizada hasta un punto máximo de 220.000 toneladas por día. La operación minera extractiva corresponde a un esquema de explotación convencional que incluye las operaciones de perforación, tronadura, carguío de material y transporte a lugares de destino, los cuales se darán a conocer más adelante.

El transporte del material es efectuado a través de camiones de gran tonelaje, cuya flota está conformada por 16 camiones de 220 toneladas métricas de capacidad cada uno de ellos. El lugar de disposición final del material transportado dependen de la ley del mineral extraído: el mineral de alta ley es llevado directamente al chancador primario o bien al stock de éste; el mineral con menos ley se transporta a un botadero para su lixiviación, este proceso es llamado Dump Leach; y el material estéril es transportado directamente a botaderos.

2.2.2 - Chancadores y Almacenamiento de Material en Stock Pile

El mineral explotado que supera la ley de corte de cobre total (mayor o igual a 0,8%) es trasladado y vertido en una tolva, la cual alimenta al chancador primario, en la que existe un sistema de control de polvo. Luego de este proceso, una correa transporta el mineral desde la tolva hasta el chancador primario.

CAPÍTULO II. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

El chancador primario es del tipo giratorio “de pera” y su régimen máximo es de 15 millones de toneladas por año (Mta).²

El material extraído del primer chancador, es enviado a un sistema de pre-harneado. El rechazo del pre-harneado es enviado a los chancadores secundarios y el tamaño aceptable se transporta directamente a un almacenamiento cubierto (stock pile), al cual también llega el producto proveniente del chancador secundario.

El sistema de chancado secundario posee dos chancadores más pequeños, los cuales trabajan en forma paralela. El producto de este chancado secundario se envía a través una correa transportadora hacia el stock pile.

Como dato extra se puede mencionar que el stock pile original fue reemplazado el año 2006 por un domo, tal como se muestra en la figura 2.2 .Este depósito posee una capacidad de 23.000 toneladas de carga y una mayor autonomía operacional.



Figura 2.2 Stock Pile

El mineral proveniente de este domo es transportado a través de correas a un área de pre-harneado. Para disminuir la emisión de material particulado, se cuenta

CAPÍTULO II. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

con un sistema de recolección de polvo en húmedo, el cual atrapa la mayoría de las partículas que se generan producto de esta actividad.

El rechazo es enviado a unos chancadores terciarios, los cuales funcionan en dos fases (sólido y líquido), estos trabajan con un sistema de circuito cerrado y paralelos entre sí. El mineral húmedo resultante de estos chancadores terciarios, alimenta la unidad de clasificación, que cuenta con harneros, bombas de pulpa y ciclones para entregar dos productos:

- (1) Una fracción gruesa que continúa hacia la lixiviación en pilas
- (2) Una fracción fina en pulpa que alimenta a un espesador que finalmente se dirige a la unidad de flotación.

2.2.3 - Procesos Hidrometalúrgicos

La obtención de los cátodos de cobre en la faena minera de Barrick Zaldívar comprende los procesos de Lixiviación, Extracción por Solventes (SX) y Electro-Obtención (EW).

2.2.3.1 - Pilas de Lixiviación

Las pilas utilizadas en CMZ para el proceso de lixiviación corresponden a tres tipos:

- Pila de lixiviación de mineral chancado (Pila Dinámica)
- Pila de lixiviación de mineral no chancado de baja ley (Dump Leach)

CAPÍTULO II. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

- Pila de lixiviación secundaria de ripios (Pila de Ripios)

En todos estos casos, el mineral se riega con una solución diluida de ácido sulfúrico. Este actúa solubilizando el contenido de cobre del material, obteniendo así, como producto de esta parte del proceso, soluciones enriquecidas. Estas soluciones serán procesadas en las plantas de SX y EW, siendo ubicadas con pendiente hacia abajo de las pilas para que la solución descienda por gravedad a estas.

2.2.3.2 - Pila Dinámica

El mineral que sale del chancador terciario es transportado hacia la Pila Dinámica por medio de correas y posteriormente depositado mediante un apilador móvil mecánico.

La pila de lixiviación es del tipo dinámica, ya que involucra un proceso de carga y retiro del mineral, el cual debe ser efectuado en forma cíclica. Este proceso consiste en realizar el depósito del material en la pila a través de un apilador móvil y para el retiro del mineral lixiviado (ripio) una rotopala.

La pila de lixiviación es apoyada en un suelo muy bien compactado y sin piedras que puedan dañar la carpeta que contiene al mineral, la cual es de material impermeable de HDPE, cuya característica es que excede el perímetro de la pila dinámica para poder cubrir toda el área encerrada por bermas de contención de soluciones, además sobre la carpeta se encuentran unos ductos, los cuales sirven para el drenaje de la pila

En la Figura 2.3 se muestra la disposición de la pila dinámica y la operación de retiro de mineral lixiviado.



Figura 2.3 Pila Dinámica, Apilador Móvil y Rotopala

El material que posee baja ley (menor al 0,8%) es trasladado directamente desde la mina (sin el proceso de chancado) a lixiviación en un sector llamado Dump Leach, esta pila se muestra en la figura 2.4.

La base de esta pila, al igual que la pila dinámica, se encuentra cubierta por una carpeta de HDPE y también cuenta con un sistema de tuberías de drenaje y colección perimetral. Las soluciones provenientes de esta lixiviación son enviadas a las piscinas de proceso.



Figura 2.4 Dump Leach

Los ripios o material ya lixiviado en la pila dinámica, son sacados por la rotopala y enviados por correas transportadoras hacia un lugar llamado Sector de Acopio de Ripios, donde son colocados mediante dos métodos, un apilador móvil y a través de camiones.

En el lugar del Sector de Acopio de Ripios es realizada una segunda lixiviación de aquel material que su contenido de cobre lo justifique. En esta zona se dispone de una carpeta impermeable y líneas de tuberías de recolección de soluciones. Los efluentes de este proceso son enviados hacia las piscinas del proceso por gravedad.

A continuación se muestra en la figura 2.5 una vista panorámica de la pila secundaria de Ripios.



Figura 2.5 Pila de Lixiviación Secundaria de Ripios

2.2.3.3 - Piscinas de Proceso

Para el almacenamiento y manejo de soluciones se consideran siete piscinas, las cuales se dan a conocer a continuación en la tabla n° 1

Tabla n°1 Piscinas de Proceso

Piscina	Volumen (m3)	Superficie (m ²)
Piscina refino superior área Pila Dinámica	25.000	9.200
Piscina refino inferior área Pila	108.000	20.500
Piscina PLS área Pila	140.000	27.025
Piscina IPLS área Pila Dinámica	25.000	7.000
Piscina IPLS área Dump Leach	25.000	7.000

Tabla n°1 Piscinas de Proceso (continuación)

Piscina	Volumen (m3)	Superficie (m ²)
Piscina soluciones lixiviación secundaria de ripios	16.500	4.440
Piscina auxiliar Sector Acopio de Ripios	8.000	3.880

En la tabla n°1 se hace mención a dos abreviaturas IPLS y PLS, las cuales significan:

- PLS: Solución de concentración enriquecida de cobre.
- IPLS: Solución de concentración intermedia de cobre.

Las piscinas de proceso se encuentran resguardadas de filtraciones por una capa doble de HDPE separadas por una lámina de geonet, la cual es una carpeta similar a la de HDPE pero con un espesor mayor que evita la erosión. Además de todo esto, las piscinas poseen alarmas conectadas a un sensor de nivel el cual indica si éste se encuentra bajo o alto.

Las soluciones que llegan de la lixiviación con una alta concentración de cobre, son dirigidas a la piscina de de PLS, la que abastece la planta de Extracción por Solventes. En esta planta el cobre que se extrae de la solución se envía al proceso de electro-winning, por otra parte la solución pobre de cobre es enviada a la piscina de refino inferior.

Desde la piscina de refino inferior se bombea esta solución hacia la piscina de refino superior y pila de lixiviación secundaria de ripios. Luego de esto desde la

CAPÍTULO II. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

piscina de refino superior se envía la solución hacia las pilas de lixiviación dinámica y Dump Leach, todo en esto conforma un gran circuito cerrado².

Las piscinas de IPLS reciben la solución de la Pila Dinámica y Dump Leach, que contienen concentraciones de cobre intermedia².

2.2.3.4 - Extracción por Solventes (SX)

La planta de SX es la que recibe las soluciones provenientes de la piscina de solución enriquecida de cobre y permite que el mineral se transfiera desde estas soluciones a una segunda llamada electrolito, por medio de un extractante orgánico, para luego ser enviada hacia la planta de Electro-Winnig. La solución ya utilizada de cobre es enviada a las piscinas de refino.

2.2.3.5 - Electro-Winning (EW)

La solución obtenida de la planta de Extracción por Solvente conforma la alimentación de la planta de Electro-Winning, la cual posee 4 naves de Electro-Deposición. Para mantener un control de las concentraciones de neblina ácida, esta planta posee un sistema de ventilación de flujo forzado, además de esto se le agrega al electrolito un reactivo tensoactivo, el cual forma una superficie viscosa sobre el electrolito impidiendo que las burbujas de oxígeno creadas durante el proceso de EW revienten con mucha fuerza cuando lleguen a la superficie. Hoy en día ésta planta de electro-obtención puede llegar a producir aproximadamente 149.000 toneladas por año de cátodos de cobre de alta pureza.³

2.2.3.6 - Disposición de Relaves

El avance de la Compañía Minera Zaldívar consideró una capacidad aproximada de 2.200 toneladas por día de relaves en un depósito ubicado al norte de la faena

CAPÍTULO II. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

minera, el cual posee una capacidad de almacenamiento de 16 millones de toneladas.

Este depósito posee un plan de manejo, a través del cual se hace un control periódico de las aguas y de las calidades de los materiales que forman partes de los muros resistentes, así como el material embalsado, este control se lleva a cabo utilizando una serie de piezómetros para monitorear los niveles freáticos que se podrían crear con las aguas de proceso.

2.2.3.7 - Instalaciones Auxiliares

CMZ posee 5 estanques para el almacenaje y distribución de H_2SO_4 , los cuales permiten que se abastezca por medio de bombas las piscinas de solución de refino, planta Electro-Obtención y Extracción por Solvente

La cantidad de ácido sulfúrico consumido en faena es aproximadamente 180.000 toneladas por año.

2.2.3.8 - Electricidad

El suministro de electricidad es proveniente del Sistema Interconectado Norte Grande (SING). En el interior de la faena minera se encuentra una subestación eléctrica llamada “Zaldívar”, la cual a través de una línea de transmisión de 220 kV es abastecida por la subestación Crucero.

2.2.3.9 - Agua de Zaldívar

El agua es extraída desde una serie de pozos de aguas subterráneas ubicados en Negrillar, localidad que se encuentra a 120 km al noreste de CMZ. La conducción de agua desde estos pozos hasta la faena minera se realiza mediante un acueducto que incluye dos estaciones de bombeo

CAPÍTULO II. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

La figura 2.6 muestra una imagen panorámica del rajo de la faena minera capturada desde un mirador ubicado en el de despacho de la mina.



Figura 2.6 Imagen del Rajo de CMZ

En la figura 2.7 se muestra el diagrama de flujo completo de la faena minera de Barrick Zaldívar.

CAPÍTULO II. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

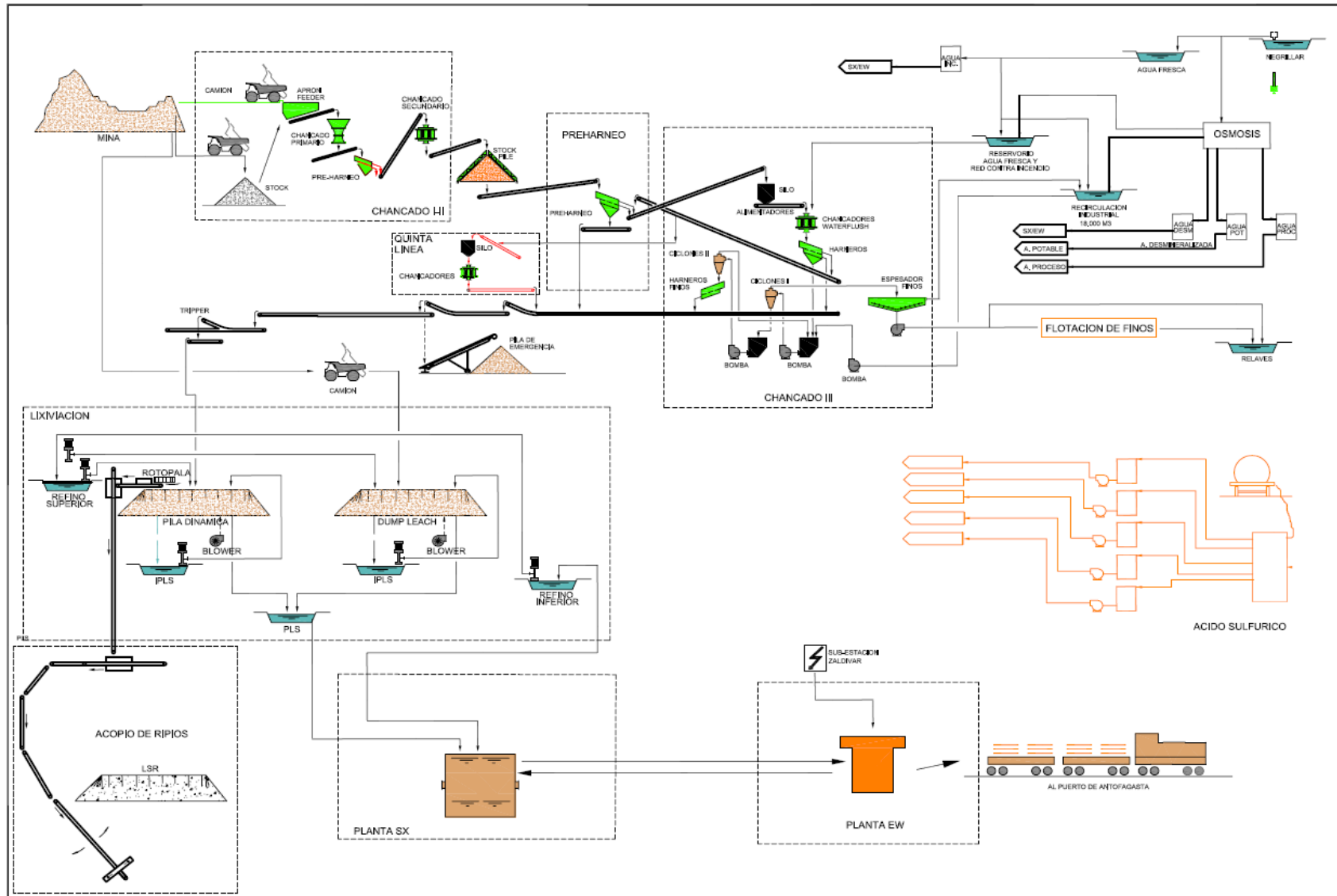


Figura 2.7 Diagrama de flujo de CMZ

2.3 - Ampliación de Barrick Zaldívar

Actualmente la compañía Minera Zaldívar se encuentra gestionando un proyecto para optimizar e incrementar la capacidad productiva de la faena minera, para lo cual se pretende implementar modificaciones a las líneas de proceso, así como también adicionar algunas unidades logísticas.

Este proyecto consta de ampliar la superficie de algunas zonas de la faena minera en cerca de 162 ha, las cuales se distribuyen de la siguiente manera:

- 137 ha de ampliación de la pila de lixiviación secundaria de ripios
- 18 ha en nuevas piscinas de proceso
- 6 ha en un sitio de disposición de Residuos Sólidos Domésticos (RSD) y Residuos Sólidos Industriales No Peligrosos (RISES NP)
- 1 ha para instalaciones auxiliares

2.3.1 - Monto de inversión

El monto de inversión requerido para la ejecución de las obras de ampliación del proyecto se estima en aproximadamente 38 millones de dólares americanos.

2.3.2 - Mano de obra

La mano de obra que se requiere durante la fase de construcción de las obras de ampliación, se estima en 432 trabajadores, mientras que la mano de obra que se requiere para la fase de operación se estima en 26 trabajadores.

La mano de obra a utilizar en la fase de construcción y en la fase de operación será alojada en los campamentos existentes en la faena Zaldívar, los cuales

CAPÍTULO II. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

poseen capacidad suficiente para atender la mano de obra adicional, incluyendo las instalaciones sanitarias y de servicios.

2.3.3 - Vida útil y descripción cronológica

El manejo del proyecto se realizará conjuntamente con el resto de las operaciones de la faena minera, cuya vida útil se calcula en al menos 13 años. La etapa de construcción del proyecto será de aproximadamente 8 meses. La operación de este proyecto se realizará a lo largo de toda la vida útil de CMZ, continuada por una etapa de cierre de alrededor de 5 años.

2.3.4 - Fecha estimada de inicio de ejecución del proyecto

El inicio de ejecución de las obras de ampliación del proyecto está previsto para el primer trimestre del 2010.

2.4 - Problemática a solucionar

Actualmente la Compañía Minera Zaldívar cuenta con alrededor de 850 trabajadores propios de Zaldívar y 1500 Contratistas, los cuales realizan turnos en la faena dependiendo de las necesidades de cada una de las áreas mencionadas anteriormente, además hay que señalar que con la ampliación descrita en el punto 2.3 del capítulo 2 la cantidad de contratistas alcanzará un punto máximo cercano a los 2000 trabajadores, los cuales producirán una mayor cantidad de residuos tanto orgánicos como inorgánicos, por lo cual se debe tratar de realizar algún procedimiento con el cual disminuirlos, ya que es de mucha importancia el compromiso medio ambiental de la empresa.

Existiendo ya un proceso de reciclaje de cartones, papeles y plásticos, solamente se necesitará disminuir los residuos orgánicos, para ello se deberá trabajar con el personal encargado de los casinos ubicados al interior de la faena minera, los que se llaman casino de operaciones y casino de construcción, los cuales son

CAPÍTULO II. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

operados por la empresa Aramark (Central de Restaurantes), ellos estarán encargados de recolectar y segregar la materia orgánica para poder ocuparla en el proyecto compost, el cual ya se encuentra en funcionamiento, la finalidad de esto es lograr una disminución de dichos residuos obteniendo como producto final compost, el cual es un abono orgánico que puede ser utilizado en plantas y macetas para mejorar su crecimiento, cumpliendo así la visión medio ambiental de la empresa, la cual es trabajar en armonía y ayudar al medio ambiente.

Este proyecto estará a cargo de la Superintendencia de Medio Ambiente junto con la colaboración de la empresa encargada de los casinos y Resiter, empresa encargada del manejo de residuos.

A continuación se muestra una imagen (Figura 2.8) de la ubicación del casino de operaciones, el cual se encuentra dentro del campamento de dicho nombre.



Figura 2.8 Campamento de operaciones

CAPÍTULO II. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

En la figura 2.8 se ve encerrado en el círculo rojo el casino de operaciones, el resto de las edificaciones son los dormitorios de los trabajadores.

Para el desarrollo de este proyecto se necesitará verificar las normativas con respecto al proceso de compostaje o directamente del compost y las características fundamentales de dicho tratamiento, los cuales se detallaran en los siguientes capítulos.

2.5 - Clima de la región

El clima en la región de Antofagasta se caracteriza por una marcada aridez, esto se ve reflejado mayoritariamente en la zona intermedia, donde la influencia marítima pierde importancia. En este lugar de Chile se encuentra el Desierto de Atacama, el cual se caracteriza por ser el más árido del mundo.⁴

En la costa de esta región se encuentra un clima costero nuboso, el cual se prolonga solo por unos 20 kilómetros al interior, debido a que esta influencia marítima es contenida por los cerros de la cordillera de la costa, las características principales de este clima son otorgadas principalmente por la corriente fría de Humboldt, como lo son la abundante humedad, neblinas matinales y ausencia de precipitaciones.

La faena de la Compañía Minera Zaldívar se encuentra ubicada en la depresión intermedia de esta región, en donde prevalece el clima desértico, caracterizado por su aridez, ausencia de humedad y una elevada variación térmica, que algunas veces puede alcanzar los 30°C de diferencia. La región de Atacama posee las características climáticas más áridas del norte chileno.

CAPÍTULO III. NORMA CHILENA 2880

3.1 - Antecedentes generales de la norma chilena 2880

La norma chilena 2880 busca promover la gestión correcta de los residuos sólidos orgánicos, evitar plagas que puedan venir incorporadas en el producto y fomentar el desarrollo de la industria nacional del Compost, y se aplica tanto a producto nacional como importado.

“Esta norma posee como objetivo principal establecer la clasificación y requisitos de calidad del Compost producido a partir de residuos orgánicos y de otros materiales orgánicos generados por la actividad humana.”

Esta norma se aplica al Compost producido en cualquier planta siempre y cuando se pretenda comercializar bajo el nombre de Compost o sus sinónimos.

Esta norma no se aplica a:

- Bosques nativos
- Áreas silvestres
- Residuos orgánicos peligrosos
- Residuos Infecciosos

Estos serán definidos por la autoridad competente.

En la Nch2880 se da a conocer una definición del Compost y su posterior clasificación que se detallan a continuación:

El Compost en general es un producto inocuo y careciente de efectos tóxicos que resulta del proceso de compostaje. Está formado principalmente por materia orgánica. Puede ser almacenado, sin tratamientos, bajo condiciones adecuadas.

Dentro de esta norma se encuentran algunas metodologías para obtener el Compost, como lo son el método de la pila con volteo y el método de pila estática aireada

El método de pila con volteo es una técnica basada en la inversión frecuente del material en proceso, lo que permite lograr una aireación adecuada y una mejor mezcla del material, esto provoca que toda la masa pueda alcanzar las temperaturas y tiempos requeridos.

El método de pila estática aireada es una técnica que permite un control de la aireación y de los otros parámetros importantes del proceso, como lo son la temperatura y humedad. Utiliza un sistema de tuberías perforadas conectadas a una bomba, que permite succionar y subministrar aire a la pila.⁸

3.2 - Clasificación

3.2.1 - Compost Clase A

Es un producto de alta calidad que cumple con los requerimientos que posee esta norma para pertenecer a un Compost de clase A. Este producto no posee restricciones de uso y puede ser aplicado en macetas directamente sin necesidad de realizar una mezcla con otros materiales.

3.2.2 - Compost Clase B

Es un producto de nivel intermedio de calidad que cumple con los requerimientos para pertenecer a un Compost clase B. Este producto presenta algunas restricciones de uso. Para ser aplicado en macetas debe ser mezclado con otros elementos.

3.2.3 - Compost inmaduro

Es la materia orgánica que ha pasado por las dos primeras etapas del proceso de compostaje, Mesofílica y Termofílica, en las cuales ha sufrido una descomposición inicial, pero no ha alcanzado la maduración que es necesaria para la obtención de un Compost de clase A o B. Este producto debe ser mezclado para ser aplicado y no producir un déficit de nitrógeno.

3.3 - Características del Compost según Nch2880

3.3.1 - Reducción de Patógenos

Todos los tipos de Compost deberán cumplir con los siguientes requisitos:

1. Tener una densidad de coliformes fecales menor a 1000 Número Más Probable (NMP) por gramo de Compost en base seca.
2. Tener una densidad de salmonella sp. menor a 3 NMP en 4 gramos de Compost en base seca.
3. Tener un contenido de huevos de helmintos menor a 1 en 4 gramos de Compost en base seca.

Cabe señalar que como alternativa al requisito número 3 se entenderá el cumplimiento de algunos de los siguientes requisitos:

4. Tener una densidad máxima de virus MS-2 menor a 1 Unidad de Formación de Placas (UFP) en 4 gramos de Compost en base seca.
5. Si es aplicado el método de compostaje de apilamiento estático con aireación forzada, la temperatura del Compost deberá mantenerse a 55°C o más, por tres días.
6. Si es aplicado el método de apilamiento con volteos, la temperatura del Compost deberá mantenerse a 55°C o más, por un periodo de a lo menos 15 días. durante este tiempo, las pilas deberán ser volteadas un mínimo de 5 veces. Alternativamente, la temperatura del Compost se debe mantener por sobre los 70°C por un tiempo superior a 30 minutos.

En cuanto a los olores, este producto no debe presentar olores fuertes como lo son los compuestos de sulfuro, solamente debe poseer un aroma característico de bosque.

La humedad para toda clase de Compost debe ser menor que el 30% en peso.

3.3.2 - Metales pesados en el Compost

Todas las Clases de Compost A, B o inmaduro deberán cumplir con las siguientes características según los metales pesados que puede poseer, las cuales son indicadas en la tabla n°2.

Tabla n°2 de metales pesados

Metales pesados	Concentración máxima en mg/kg de Compost en base seca
Arsénico	15
Cadmio	2
Cobre	100
Mercurio	1
Molibdeno	2

Tabla n°2 de Metales pesados (continuación)

Metales pesados	Concentración máxima en mg/kg de Compost en base seca
Zinc	200
Níquel	20
Plomo	100

3.3.3 - Relación C/N (Carbono/Nitrógeno)

El Compost se puede clasificar de acuerdo a la relación C/N que posee:

Clase A: entre 10-25

Clase B: entre 10-45

Inmaduro: como máximo 50

3.3.4 - pH

El pH también debe estar dentro de un rango predeterminado, a continuación se dan a conocer el rango para las distintas clases de Compost.

Clase A: entre 7,0-8,0

Clase B: entre 6,5-8,5

Inmaduro: 6,0-8,5

3.3.5 - Madurez del Compost

El Compost será considerado maduro si cumple que después de un periodo de incubación de 24 horas en condiciones anaeróbicas a 55°C el pH debe ser mayor a 6,5.

Con respecto a la materia orgánica de todos los tipos de Compost esta debe ser mayor o igual a 25% en base seca.

3.3.6 - Impurezas

En esta norma se definen las impurezas que puede poseer el Compost, las cuales se dan a conocer a continuación en la tabla n°3.

Tabla n° 3 Impurezas del Compost

Compost	Plástico, metal, vidrio o caucho, mayor a 2mm	Piedras mayor a 5 mm	Vidrio mayor a 16 mm
Clase A	Menor o igual a 0,5% por peso en base seca	Menor o igual a 5,0% por peso en base seca	Ausente
Clase B	Menor o igual a 1,0% por peso en base seca	Menor o igual a 5,0% por peso en base seca	Ausente
Inmaduro	Menor o igual a 1% por peso en base seca	Menor o igual a 5,0% por peso en base seca	Ausente

CAPÍTULO IV. ANTECEDENTES TEÓRICOS

4.1 - Información del proceso de Compostaje

El compostaje es el proceso biológico aeróbico, a través del cual los microorganismos actúan en la materia biodegradable (como lo son los residuos urbanos), permitiendo generar Compost.

El Compost se puede definir como el resultado de un proceso de humidificación de la materia orgánica, bajo condiciones controladas. El Compost es un renovador para el suelo que mejora la estructura, reduce la erosión y ayuda a la absorción de agua.

4.2 - Materias primas para el Compost

Para la elaboración del Compost se puede emplear cualquier materia orgánica, con la condición de que no se encuentre contaminada con aceites ni aliños. En la faena de la Compañía Minera Zaldívar se utilizarán los siguientes residuos domésticos:

- Cítricos (Naranjas, Limones, etc.)
- Corontas de choclos
- Frutas y verduras (Sandia, Zanahoria, Lechugas, etc.)
- Hojas y bolsas de té
- Cáscaras de huevo

CAPÍTULO IV. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Existen algunos residuos que no pueden ser utilizados en la fabricación del Compost como por ejemplo:

- Residuos reciclables como el papel y el plástico.
- Alimentos cocidos, granos, líquidos o espesos.
- Desechos de carnes de vacuno, cerdo, aves y pescados.
- Desechos de madera pintada o laqueada
- Colillas de cigarro ni fósforos usados

Es por esto que es necesario tener un buen proceso de segregación, ya que estos residuos pueden generar una demora en la obtención y una baja calidad del producto final.

A continuación se muestra en la figura 4.1, los recipientes nuevos implementados en Zaldívar para la recolección de residuos sólidos.



Figura 4.1 Recipiente utilizado en la recolección de residuos.

4.3 - Etapas del proceso de Compostaje.

El compostaje se puede dividir en cuatro etapas, los cuales son⁵:

- Mesolítica
- Termofílica
- Enfriamiento
- Maduración

Mesolítica es una etapa en la cual la materia orgánica está inicialmente a temperatura ambiente, es en ella donde comienzan a generarse microorganismos mesófilos, los cuales se multiplican rápidamente para iniciar la degradación. Como consecuencia de esta actividad metabólica aumenta la temperatura y se producen ácidos orgánicos que hacen bajar el pH.

Termofílica es cuando se alcanza una temperatura aproximada de 40 °C. Los microorganismos termófilos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco haciendo el pH del medio más alcalino.

Enfriamiento en esta etapa la temperatura empieza a descender desde los 60 °C provocando una reaparición de los hongos termófilos que invaden el Compost y lo descomponen. Al bajar de 40 °C los mesófilos también vuelven a su actividad y el pH del medio desciende ligeramente.

Maduración es un periodo que requiere meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del Compost.

4.4 - Factores que condicionan el Compostaje.

Existen algunos parámetros críticos que pueden condicionar el proceso del compostaje, entre los cuales se pueden mencionar⁶:

- Aireación.
- Contenido de Humedad.
- Relación C/N (carbono/nitrógeno).
- Temperatura.
- Población Microbiana.

4.4.1 - Aireación.

La aireación de la materia orgánica supone la incorporación del oxígeno del aire y la eliminación del dióxido de carbono producido durante el compostaje.

La falta de ventilación del dióxido de carbono origina el desarrollo de microorganismos anaeróbicos que cortan el proceso del compostaje.

La ventilación controlada además sirve para regular la temperatura de la fermentación.

4.4.2 - Contenido de humedad.

Este es un parámetro muy importante, debido a que los microorganismos necesitan el agua para transportar los alimentos y elementos energéticos, por lo que la descomposición de la materia orgánica depende del contenido de humedad.

Los valores mínimos en los que se sitúa la actividad biológica son entre 14 y 12 %, pero cabe señalar que los valores óptimos se encuentran entre 50 y 60 %

4.4.3 - Relación C/N.

Los microorganismos necesitan el carbono como fuente esencial de energía, y el nitrógeno para la síntesis de proteínas junto con otros elementos como el fósforo y el azufre.

Durante este proceso los microorganismos consumen de 25 a 35 unidades de carbono por unidad de nitrógeno, es por esto que este dato es fundamental a la hora de preparar las mezclas a utilizar en el compostaje.

A continuación se muestra la tabla n°4 con algunos datos de la relación C/N de algunos residuos.

Tabla n°4 relación C/N

Residuos de comida	15/1
Madera (según la especie)	6/1
Papel	170/1
Pasto fresco	10/1
Hojas (según hoja)	entre 40/1 y 80/1
Desechos de fruta	35/1
Tallos de maíz	60/1
Paja de trigo	80/1
Alfalfa	13/1
Humus	Entre 9/1 y 13/1
Trébol verde	16/1
Trébol seco	16/1
Leguminosas en general	25/1
Paja de avena	80/1

4.4.4 - Temperatura.

Se consideran óptimas las temperaturas del intervalo 35-55 °C para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malezas. A temperaturas muy altas, muchos microorganismos interesantes para el proceso mueren, además podrían generarse olores desagradables en la medida que la pila o depósito se esteriliza a sí mismo.

4.4.5 - Población Microbiana.

El compostaje es un proceso aeróbico de descomposición de la materia orgánica, llevado a cabo por una amplia gama de poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetos (bacteria con forma de hongo).

4.4.6 - Materia orgánica.

Durante este proceso las pérdidas de materia orgánica pueden llegar hasta un 70%, la mayoría de estas, debido a la materia orgánica volátil rica en carbono.

El pH no entra en el rango de los parámetros críticos, pero si debe ser considerado con las condiciones de diseño y funcionamiento de las composteras.

Es necesario mantener un control del pH debido a que este debe comportarse de una manera determinada como se describe a continuación⁷.

- Inicialmente los residuos sólidos urbanos, presentan una reacción ácida correspondiente a los extractos de las sustancias orgánicas, con valores cercanos a 6, con el inicio de la fermentación, los residuos comienzan a tener mayor acidez por la actividad de las bacterias y la formación de ácidos débiles.
- Los residuos fermentables después adquieren una reacción alcalina por la formación de amoníaco.

CAPÍTULO IV. ANTECEDENTES TEÓRICOS

- En la fase final el pH desciende a valores próximos a la neutralidad o levemente alcalinos, debido al efecto tampón que se produce en la materia orgánica.

A continuación se muestra la figura 4.2, la cual da a conocer el comportamiento esperado durante este proceso de la temperatura y el pH.

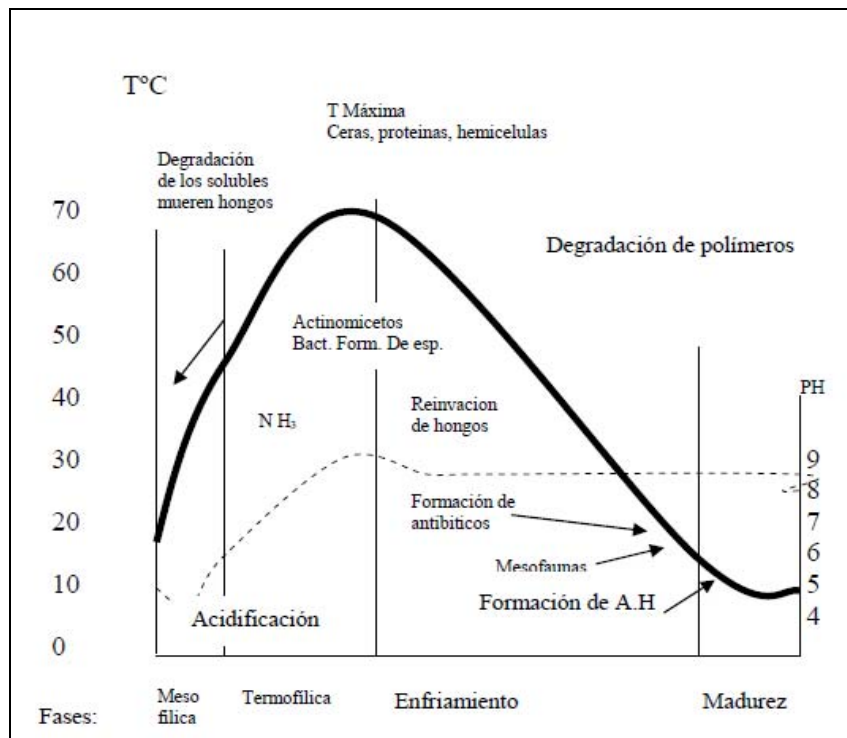


Figura 4.2 Comportamiento de la temperatura y pH en el compost.

La curva más negra de la figura 4.2 muestra el comportamiento de la temperatura a través de todo el proceso. La temperatura inicial corresponde a la temperatura ambiental, luego comienza a subir debido a la actividad de degradación de la materia orgánica por parte de los microorganismos, pasando así la etapa Termofílica, luego comienza a acabarse la gran cantidad de alimento para estas bacterias provocando una disminución de la actividad y haciendo bajar la temperatura, lo que se llama etapa de enfriamiento. Luego de esto la temperatura

CAPÍTULO IV. ANTECEDENTES TEÓRICOS

empieza a estabilizarse hasta igualarse con la del ambiente, lo que quiere decir que se encuentra en la etapa de maduración del abono ya finalizado.

La curva punteada de la figura 4.2 muestra el comportamiento del pH a través de, prácticamente, todo el proceso. El pH al principio comienza a disminuir por causa de los ácidos orgánicos, luego éste sube un poco debido a la formación de amoníaco durante la degradación, por lo que el pH llega aproximadamente a 9, después de esto en la etapa de enfriamiento y maduración el pH nuevamente desciende por la acción de los ácidos húmicos, en esta parte del proceso el pH llega a valores cercanos a 7.

Todo lo anterior debiera desarrollarse en condiciones normales de presión y temperatura, es decir a una presión de 1atm y a 20°C.

4.5 - Usos del Compost

El Compost posee diferentes utilidades como por ejemplo:

- Fertilizante o abono natural.
- Eliminación de contaminantes atmosféricos mediante biodegradación.
 - o Uso como relleno de biofiltros para la destrucción de Hexanos, organoclorados e hidrocarburos volátiles en general, con una efectividad hasta de un 99% del contaminante.
 - o Destrucción en el mismo sistema, de gases con compuestos aminados como la trietilamina (TEA) que es la causante del mal olor.
- Usado como cobertura de rellenos sanitarios.

4.6 - Características del proceso Aeróbico

A continuación se dan a conocer algunas características del proceso de formación de Compost⁶.

- Consumidor de energía.
- Como producto final se obtiene principalmente Compost, CO₂ y H₂O.
- El volumen de los residuos se reduce en más del 50%.
- El objetivo primario de este proceso es la reducción de los volúmenes de residuos.

4.7 - Lombricompost o Vermicompost

La lombricultura es una tecnología basada en la utilización de lombrices como herramientas de trabajo para el reciclaje de materia orgánica⁹.

Esta biotecnología permite obtener el humus, que es la feca de la lombriz, la cual es una abundante fuente de proteínas para la proliferación de microorganismos.

Las especies más empleadas son *Eisenia andrei* o lombriz tigre, *Eisenia foetida* o lombriz roja californiana y *Eudrilus eugeniae* o roja africana.

En la figura 4.3 se da a conocer una imagen del ciclo biológico de la lombriz californiana, la cual es utilizada en el proceso de compostaje.

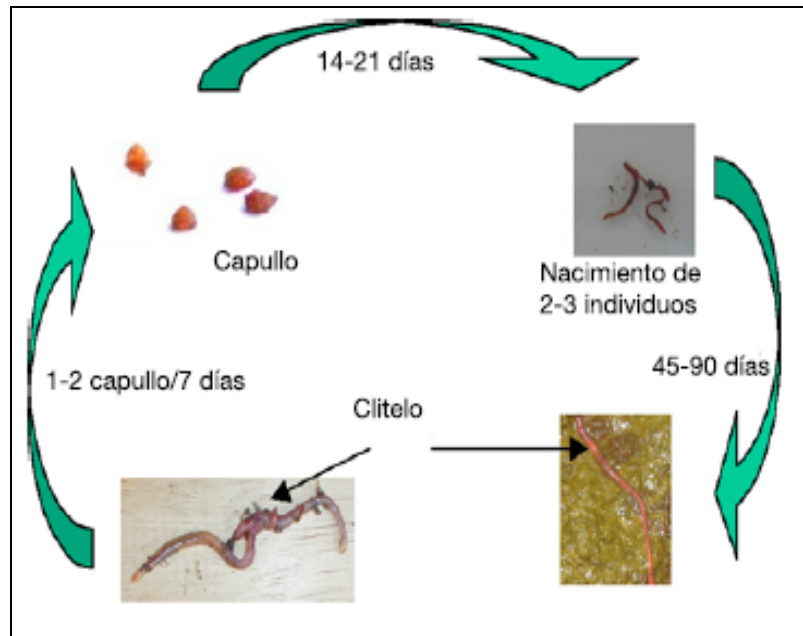


Figura 4.3 Ciclo biológico de la lombriz Californiana

4.7.1 - Descripción del ciclo biológico de la Lombriz Californiana

En las lombrices, después de 7 días de su copulación, se desarrollan uno o dos capullos por lombriz. Después de dos a tres semanas de incubación, el capullo se abre y nacen las nuevas crías, que pueden ser entre dos y nueve lombrices por cada uno, las que poseen un color rosado pálido translúcido, se pueden mover y alimentar de inmediato.

Las nuevas lombrices alcanzan su madurez sexual de 45 a 90 días después de su nacimiento, dependiendo de las condiciones del cultivo.

Las lombrices de tierra son hermafroditas, que quiere decir que poseen ambos sexos, sin embargo, su etapa de maduración es secuencial para cada sexo. La temperatura mínima para su reproducción es de 7°C²⁴.

CAPÍTULO IV. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Las principales características que deben reunir las lombrices seleccionadas para el vermicompost son: ciclo biológico corto, gran voracidad, adaptabilidad, tolerancia a situaciones de estrés y facilidad de manipulación. Si no se presta el cuidado suficiente en su alimentación, las lombrices pueden presentar trastornos fisiológicos como el síndrome proteico, que resulta de la intoxicación por exceso de proteína en el alimento. Asimismo, pueden sufrir alteraciones por la presencia de plaguicidas u otros agentes nocivos, mostrando síntomas como movimientos rápidos de escape, inflamaciones en la región clitelar, contracciones y abultamiento a lo largo del cuerpo y, por último, la muerte.

Entre los enemigos naturales de la lombriz californiana se pueden encontrar, los ratones, aves y ranas, los cuales son los principales vertebrados que amenazan las lombrices en los criaderos. También existe un amplio grupo de invertebrados que también se alimentan de ellas, como las hormigas, ácaros, tijeretas y ciempiés, entre otros¹⁰.

4.7.2 - Condiciones necesarias para la vida de las lombrices

Es necesario tener en cuenta que el alimento de las lombrices es a su vez el hábitat, por lo que es de vital importancia que las condiciones que se mencionan a continuación (tabla n°5) estén dentro del rango establecido.

Tabla n°5 Condiciones necesarias para la vida de las lombrices

Condiciones	Nivel óptimo	Nivel adecuado	Peligro de muerte
Temperatura	20 °C	Entre 14°C y 24°C	Menor que 7°C y Mayor que 37°C
Humedad	75%	Entre 70% y 80%	Inferior a 70% y Superior a 80%
pH	6,5 a 7,5	Entre 6,0 y 8,0	Menor que 4,5 y Superior a 8,5

**Tabla nº5 Condiciones necesarias para la vida de las lombrices
(continuación)**

Condiciones	Nivel óptimo	Nivel adecuado	Peligro de muerte
Conductividad eléctrica	2,5 dS/cm	3,0 dS/cm	Superior a 8,0 dS/cm
Proteínas	13%	Entre 7,5% y 13%	Menor a 7,5% y Superiores a 18%
Fuente de energía	Celulosa y Carbohidratos		
Minerales y vitaminas	A partir de la biomasa microbial		

4.7.3 - Humus de Lombriz

El humus es una sustancia bastante estable a la descomposición. Es un compuesto predominante de la materia orgánica de los suelos.

Con respecto a sus características se puede mencionar que se han realizado varios análisis en diferentes laboratorios de Chile, Ecuador, Italia, España, etc. Los cuales arrojaron los siguientes resultados promedios. El contenido de nutrientes del humus de lombriz varía dependiendo de la composición química de los residuos utilizados en su alimentación¹².

A continuación se muestra la tabla nº6 con las características promedio del humus¹¹

Tabla n° 6 características del humus

Elemento	Unidad	Rango	
pH		6,8	7,2
Materia orgánica (M.O)	%	30	50
CaCO ₃	%	8	14
Cenizas	%	27	67
Carbono orgánico	%	8,7	38,8
Nitrógeno total	%	1,5	3,35
Amonio NH ₄ /N	%	20,4	6,1
Nitratos NO ₃ /N	%	79,6	97,0
N-NO ₃	ppm	2,18	1693
Capacidad de intercambio catiónico	Meq/100g	150	300
Relación ácidos húmicos/ flúvicos		1,43	2,06
P total	ppm	700	2500
K total	ppm	4400	7700
Ca total	%	2,8	8,7
Mg total	%	0,2	0,5
Mn total	ppm	260	576
Cu total	ppm	85	490
Zn total	ppm	87	404
Capacidad de retención de agua	cm ³ /kg seco	1300	1500
Superficie específica	m ² /gr	700	800
Relación C/N		9	13
Flora microbiana	Millones/g	20000	50000

4.7.4 - Influencia del humus en el suelo

El humus al estar presente en el suelo actúa dándole ciertas características que lo mejoran no solamente en la parte física, sino que también en la parte química.

A continuación se dan a conocer algunas características que otorga el humus en los suelos.

1. El humus es una fuente nutricional y energética de los microorganismos que habitan en el suelo.
2. Es regulador de la nutrición vegetal, ya que regula el suministro micro y macro de los nutrientes.
3. Aumenta la retención de humedad.
4. Mejora y regula la velocidad de infiltración del agua. Evitando la erosión producida por el escurrimiento superficial del agua.
5. Ayuda a tamponar los cambios de pH.
6. Optimiza la acción de los fertilizantes al mejorar la eficiencia de recuperación y acción residual de éstos.
7. Favorece el normal desarrollo de las transferencias de energía en el suelo.
8. Reduce de forma importante las necesidades de agua de los cultivos.
9. Evita los riegos de contaminación química de los cultivos.

CAPÍTULO IV. ANTECEDENTES TEÓRICOS

En la figura 4.4 se muestra una imagen de cómo se ve físicamente el humus de lombriz.



Figura 4.4 Humus de lombriz

4.8 - Lixiviados del proceso

El lixiviado o percolado del proceso es básicamente un subproducto del resultado de la humidificación de la materia orgánica, el cual posee una gran concentración de microorganismos y nutrientes que favorecen a la degradación de los residuos.

Los lixiviados de compost y lombricompost se almacenan en recipientes de vidrio cubiertos con papel aluminio, con el objetivo de evitar el efecto directo de la luz solar. Estos recipientes se almacenan en un lugar oscuro, seco y fresco por 14 días antes de ser utilizados, para lograr una fermentación anaeróbica que permitirá que los microorganismos produzcan metabolitos secundarios.

Es recomendable realizar pruebas previas con los productos sobre algunas hojas de los cultivos, para comprobar que no haya efectos fitotóxicos. Para utilizar los productos, es aconsejable realizar diluciones en dosis de una parte de lixiviado en dos ó cuatro partes de agua previamente hervida y enfriada, y aplicarlas lo más temprano posible en la mañana, siempre y cuando no llueva.

CAPÍTULO IV. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Asimismo, es aconsejable realizar pruebas de inocuidad en el laboratorio, para descartar la presencia de Salmonella o coliformes fecales (*Escherichia coli*), patógenos perjudiciales a la salud humana.

El lixiviado de lombriz debería verse como se muestra en la figura 4.5, de un color café oscuro.



Figura4.5 Lixiviado de Vermicompost

4.9 - La Lombriz¹¹

Se conocen aproximadamente cerca de 8.000 especies de lombrices en el mundo, de las cuales solo 2.500 han sido clasificadas y 3 de estas últimas domesticadas, pero la lombriz Californiana tiene ciertas características que hacen que sea conveniente utilizar como se detalla a continuación:

CAPÍTULO IV. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Son de color rojo oscuro, aunque depende de su etapa de desarrollo, poseen la capacidad de respirar a través de su piel, son fotosensibles (ya que expuestas a los rayos del sol por unos minutos mueren) y viven aproximadamente 4,5 años

La lombriz roja o Californiana tiene una tasa de reproducción muy elevada, la cual es 1:16 en un año en un criadero (relación necesaria como mínima para un lombricultor, en condiciones naturales esta relación llega a ser 1:1.200), lo que quiere decir que por cada individuo nacen un total de 16 en un año. La capacidad de consumir todo tipo de materia orgánica la hace muy efectiva para transformarla en humus ya que alrededor de 20.000 lombrices consumen 4 kg de materia orgánica/día.

Como se sabe, el proceso de compostaje tiene como particularidad una necesidad de oxígeno constante, por lo que las lombrices tienen que ser dóciles y con una rápida adaptabilidad, ya que su habitat es alterado continuamente.

4.9.1 - Rasgos externos

La lombriz posee una forma cilíndrica con anillos y terminando en forma de punta en ambos lados, para reconocer la boca y el ano es necesario fijarse que entre el anillo 32 y 37 existe un ensanchamiento llamado clitelo, el cual es muy importante en la etapa reproductiva. Si podemos contar esta cantidad de anillos en un lado de la lombriz podremos decir que este es la boca y la parte posterior el ano.

En la pared exterior de su cuerpo posee una capa que recubre la epidermis de la lombriz. En esta existen unas glándulas que secretan mucus para mantener la humedad y la flexibilidad

Las Eisenias foetida (nombre científico de la lombriz californiana), por tener este asombroso grado de adaptación pueden criarse en cualquier lugar del planeta que posea temperaturas que no superen los 40°C, por lo que los climas templados son

CAPÍTULO IV. ANTECEDENTES TEÓRICOS

ideales para estas. Entre 14°C y 27°C se puede alcanzar su máxima capacidad reproductiva, una temperatura bajo los 7°C provoca que las lombrices no se reproduzcan, pero estas siguen ingiriendo la materia orgánica, aunque en menor cantidad.

En la figura 4.6 se muestra una imagen física de la lombriz californiana, en la cual se puede apreciar claramente el ensanchamiento de esta y así identificar su cabeza y su ano.



Figura 4.6 Lombriz Californiana o Roja.

Como se puede apreciar en la imagen anterior y sabiendo las características antes descritas, podemos saber claramente donde se encuentra la boca de la lombriz sin necesidad de contar los anillos que esta posee (la cabeza de la lombriz se encuentra en la parte izquierda de la imagen).

4.9.2 - Depredadores

Es algo normal que todos los animales que habitan en el mundo posean depredadores naturales, la lombriz tampoco es la excepción a esta regla.

Las lombrices no poseen ningún tipo de órganos de defensa ni de ataque por lo que están indefensas ante cualquier agente externo a ella.

Uno de los principales enemigos de las lombrices es el hombre, claro está que este ataque es de forma indirecta, ya que las daña con el uso de antiparásitos y abonos químicos. También se puede mencionar que si en el proceso de compostaje se encuentran algunos parásitos, significa que se está manipulando incorrectamente la fermentación aerobia.

Algunos insectos como moscas, escarabajos, babosas, escarabajos no atacan a las lombrices, sino que las afectan debido a que ellos se alimentan también de materia orgánica, por lo que pueden alterar las condiciones de su habitat, también hay que mencionar que algunas hormigas comen las azúcares de los alimentos.

Por otro lado podemos encontrar a algunos depredadores directos como lo son las ratas, serpientes, pájaros, ciempiés entre otros. Los pájaros pueden excavar la materia orgánica y sacar las lombrices del interior con facilidad, por lo que un recubrimiento del lugar sería ideal para un proceso continuo.

La planaria es un gusano pequeño de cuerpo plano y un color oscuro, así como se muestra en la figura 4.7, el cual causa daños muy importantes al desarrollo normal del proceso ya que se adhiere a la lombriz, mediante un tubo, y absorbe sus líquidos corporales matándola.

CAPÍTULO IV. ANTECEDENTES TEÓRICOS



Figura 4.7 Planaria

A continuación se dan a conocer algunas recomendaciones para tener en cuenta en el lecho.

Para eliminar las hormigas, que dejan a las lombrices sin azúcares en la materia orgánica, se puede humedecer la pila o el depósito constantemente para que así se marchen del lugar.

Para que los pájaros no se coman las lombrices se puede cubrir el lecho con una malla media sombra o con ramas, para que no puedan escarbar en la materia orgánica.

Para que no se acerquen los ratones al proceso es recomendable mantener una humedad cercana al 80%.

En el caso de que se encuentren planarias es recomendable no agregar al proceso estiércoles viejos y aumentar el pH ya que estas atacan a las lombrices bajo un pH 7,5.

4.10 - Tecnología disponible

Dentro de los procedimientos disponibles para la obtención de Compost podemos mencionar:

4.10.1 - Compostaje en montón o pilas¹³

Es la técnica más utilizada en las plantas de compostaje y se basa en la construcción de un montón formado por las diferentes materias primas, considerando lo siguiente:

4.10.1.1 - Mezcla de Residuos

Los residuos utilizados para el compostaje deben ser muy bien mezclados y homogenizados, para que la degradación sea aproximadamente la misma en cada una de las partes del proceso, por lo que se puede recomendar una trituración previa de los residuos, ya que mientras más grande es el tamaño de la materia orgánica, más demorará la formación del compost, además puede ocurrir una aireación y desecación excesiva del montón lo que perjudica el proceso.

Como se mencionó anteriormente es muy importante que la relación C/N esté equilibrada, ya que una relación elevada conducirá a una fermentación muy prolongada y una cantidad muy elevada de N producirá fermentaciones no deseadas. La mezcla debe tener una buena cantidad de celulosa y lignina, la cual es aportada por hojas secas, pajas y restos de poda, además debe ser rica en azúcares (restos de hortalizas y frutas). El nitrógeno se puede suministrar mediante estiércol y leguminosas verdes.

CAPÍTULO IV. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Considerando lo anteriormente descrito, para mantener el equilibrio en el proceso, es necesario realizar una mezcla tan homogénea como sea posible entre los materiales ricos y pobres en nitrógeno, y materiales secos y húmedos.

4.10.1.2 - Conformación del Montón

La pila o el montón debe tener un volumen suficiente para poder mantener las condiciones adecuadas de humedad y aireación, además si el material está en contacto con el suelo se debe tener mucho cuidado con el lixiviado de este proceso, ya que de acumularse y no tener una vía de escape podría formar condiciones anaerobias, produciendo malos olores.

El lugar para la disposición de estos residuos dependerá exclusivamente de las condiciones climáticas. En lugares más fríos y húmedos es recomendable situarlo al sol, protegido del viento y la lluvia con una carpeta de plástico o similar, permitiendo una buena aireación, por el contrario en los lugares muy calurosos y secos conviene colocar el montón a la sombra, para evitar que el proceso pierda humedad durante este periodo.

4.10.1.3 - Buena operación del Proceso

Cuando se ha formado la pila o el montón es necesario tener un manejo correcto de este, ya que de esta parte del proceso dependerá la calidad final del compost. La pila tiene que airearse constantemente para así favorecer la oxidación y reducción que realizan los microorganismos al descomponer los residuos. El volteo del montón es una forma económica y rápida para asegurarnos que en la mezcla de materia orgánica haya oxígeno, además este procedimiento sirve para homogenizar la mezcla y tratar que todas las zonas del montón mantengan una temperatura y humedad adecuada (dentro del intervalo descrito en la tabla n°6).

CAPÍTULO IV. ANTECEDENTES TEÓRICOS

En el caso de que exista un exceso de humedad o que la mezcla no sea la adecuada, se pueden producir fermentaciones indeseables originando sustancias que dañen a las plantas. Por lo general, el compost posee un olor característico, el cual es muy similar a la tierra húmeda.

La manera en que se manipule el montón o la pila según sea la disposición de los residuos dependerá exclusivamente de las condiciones del lugar, estación del año y del clima característico de la zona. La mayoría de las veces la materia orgánica dispuesta para el proceso de compostaje es volteada cuando han transcurrido de cuatro a ocho semanas, repitiendo este procedimiento dos o tres veces cada 15 días. Así se puede obtener después de 2 a 3 meses un compost inmaduro, el cual puede utilizarse semi-enterrado.

4.10.2 - Compostaje en silos¹⁴

Para la fabricación de compost en menor volumen, es utilizado como compostera (depósito en donde se colocan los materiales para el proceso de compostaje) silos verticales redondos o cuadrados, de unos 2 a 3 metros de altura según sea la geometría utilizada (como muestra la figura 4.8), en cuyos lados están dispuestos orificios para permitir la aireación. El silo es cargado por la parte superior y el compost ya maduro se descarga por una abertura ubicada en la parte inferior de este. Este procedimiento puede originar un sistema continuo introduciendo y retirando la materia orgánica o el Compost maduro según sea el caso.



Figura 4.8 Silos de Compostaje

4.10.3 - Compostaje en Superficie

Este tipo de compostaje consiste en esparcir sobre un terreno determinado y libre de objetos extraños a la materia orgánica, una delgada capa de estos residuos ya triturados y homogenizados, dejándolos descomponerse y que estos penetren poco a poco en el suelo. Este producto sufre una descomposición aerobia y se asegura la cobertura y protección del suelo, no obstante las pérdidas de nitrógeno son elevadas.



Figura 4.9 Compostaje en superficie

4.10.4 - Compostaje con aireación forzada¹⁵

El compostaje con aireación forzada consiste en colocar una red de tuberías, las cuales suministran el oxígeno a la materia orgánica, esto reduce los olores y el tiempo de compostaje, además de no tener un gasto extra en la manipulación de los residuos, ya que el volteo sería solamente para homogenizar la mezcla y para su humectación. El problema de este procedimiento es que sería un costo extra en el diseño del proceso y además necesitaría mucho mantenimiento.



Figura 4.10 Compostaje con aireación forzada.

CAPÍTULO V. DATOS DE LA EMPRESA PARA EL PROYECTO COMPOST

La empresa encargada del movimiento de residuos sólidos domésticos y residuos peligrosos es Resiter, la cual cuenta con una experiencia de más de 25 años en el traslado de residuos.

La cantidad de residuos emitidos por la empresa son alrededor de 45 toneladas mensuales, de las cuales alrededor de 2 toneladas serán las utilizadas en la segunda etapa del proceso de compostaje. Sin embargo hay que señalar que en la Nch 2880 aparece una cantidad aproximada de residuos emitidos por persona (1,15 kg / persona día de los cuales entre el 65 y 70% son residuos orgánicos), por lo que se puede ver la mejor opción para el diseño del sistema de reutilización de residuos biológicos, ya sea por persona o por una cantidad de residuos fija.

A continuación, en la figura 5.1 se muestran algunos residuos domésticos utilizados para el compostaje.



Figura 5.1 Residuos biológicos

CAPÍTULO V. DATOS DE LA EMPRESA PARA EL PROYECTO COMPOST

Otro dato importante es que en la faena minera se mantiene un monitoreo constante de las condiciones climáticas, con lo cual podemos tener los datos característicos del sector, ya sea de temperatura como tasa de evaporación. Los siguientes datos de la tabla n°7 fueron tomados durante el año 2009 y fueron facilitados por personal de la Superintendencia de Medio Ambiente.

Tabla n°7 de temperaturas en CMZ²⁶

Variables 2009				
	Temperatura (°C)			Evaporación(mm/día)
	Mínima	Máxima	Promedio	Tasa
Enero	5,2	21,6	12,2	9,2
Febrero	5,4	20,7	12,3	9,5
Marzo	5,2	21,6	12	8
Abril	5,2	22,5	12,5	6,6
Mayo	-4,9	19	10	5,2
Junio	1,6	18,9	9,44	5,1
Julio	-7,1	17,1	6,85	5,2
Agosto	-6,5	21,4	9,97	6,2
Septiembre	2,9	18,9	9,7	7,2
Octubre	1,5	25,3	12,1	7,8
Noviembre	4	22,4	13,2	8,2
Diciembre	5,1	21,2	12,7	8,7

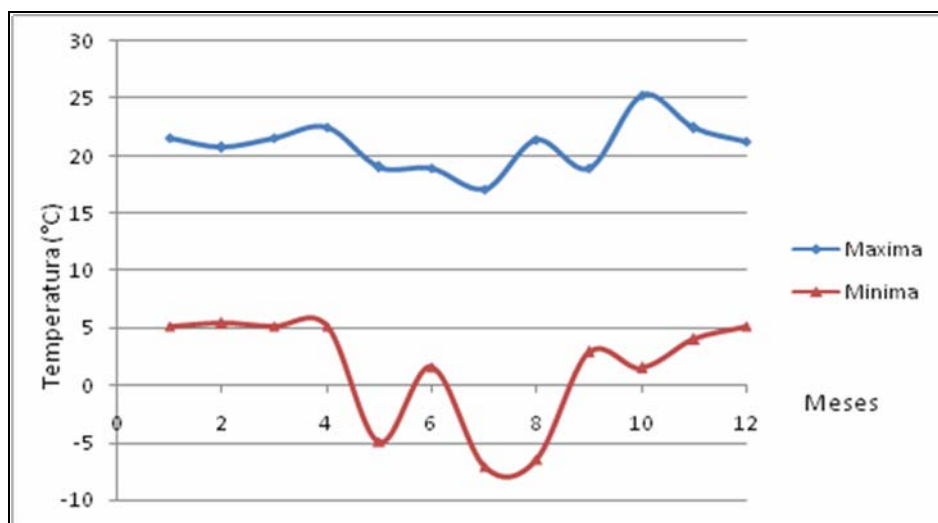


Figura 5.2 Gráfico de temperaturas de la faena minera

CAPÍTULO V. DATOS DE LA EMPRESA PARA EL PROYECTO COMPOST

En la figura 5.2 se puede observar de forma más clara las diferencias de temperaturas que se producen en la faena, cabe señalar que el delta de temperatura mayor se alcanza en los meses de invierno, es por esto que se debe tomar mucha precaución durante estos meses para que no afecte al desarrollo normal del proceso de compostaje.

5.1 - Proyecto Compost de la Compañía Minera Zaldívar

Actualmente se está desarrollando en la faena de la Compañía Minera Zaldívar, una segunda etapa de formación de Compost con los residuos sólidos emitidos por los casinos, ya que en la etapa anterior no se hizo un seguimiento de los factores que condicionan el compostaje, obteniéndose un producto con valores fuera del rango aceptable según la norma chilena 2880. Además de esto se obtuvo una mezcla no homogenizada y con una notoria falta de humectación, así como se muestra en la figura 5.3.



Figura 5.3 Producto obtenido en primera etapa del proyecto Compost

En la segunda etapa se procedió a controlar algunos factores que podrían condicionar este proceso de compostaje como lo son la humedad, el pH y la

CAPÍTULO V. DATOS DE LA EMPRESA PARA EL PROYECTO COMPOST

temperatura. La humedad se midió con un higrómetro, el pH con un peachimetro y la temperatura con un termómetro digital. Teniendo en cuenta estos parámetros es que se obtuvo un producto de mejor calidad y dentro de la norma chilena 2880. También durante esta etapa se adquirió una trituradora para realizar una mejor homogenización de la mezcla.

Se debe tener claro que un higrómetro mide la humedad relativa, lo que quiere decir que se está midiendo la humedad del aire y no la cantidad de agua existente en la materia orgánica, por lo que se cambió a un método convencional de medición de humedad en sólidos.

También hay que mencionar que se encuentra en desarrollo el diseño de las bolsas en donde se almacenará el producto, un bosquejo preliminar es el que se muestra en el anexo en las figuras 10.3 y 10.4.

Hay que señalar que el compost obtenido en la faena minera, será entregado a algunos trabajadores de Barrick Zaldívar y también utilizado en los jardines apadrinados por esta empresa.

Se está pensando en una tercera etapa de formación de abono orgánico en la faena minera, para lo cual se estima una cantidad de materia prima de 10.000 kg, es por esta razón que se gestionará la ayuda de algunas otras mineras para poder llegar a esta cantidad de residuos sólidos domésticos.

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

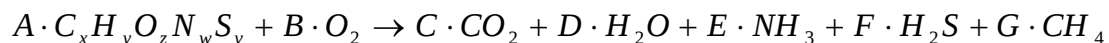
6.1 - Cálculos para balancear los gases de la fermentación.

Para iniciar el balance de una reacción química hay que tener siempre claro los reactivos y productos que estarán presentes.

Una fermentación aerobia puede producir en condiciones ideales CO_2 y H_2O , además de otros compuestos como el H_2S y el NH_3 , los cuales dependerán si existen en la materia a tratar S y N, cabe señalar que también en este tipo de reacción se puede producir gas metano (CH_4).¹⁶

La materia orgánica en general posee grandes cadenas de proteínas, ácidos nucleicos, entre otros. Por lo tanto se hará el balance de la reacción en función de los subíndices de cada componente de la materia orgánica como lo son el C, H, O, N y S.

A continuación el desarrollo del balance de la reacción:



Donde:

A, B, C, D, E, F, G son los coeficientes estequiométricos de cada compuesto.

x, y, z, w, v son los subíndices de cada elemento presente en la materia orgánica.

Luego es fijado cada elemento para ver cuántas veces se encuentra como reactivo y como producto, dando las siguientes ecuaciones como resultado:

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

$$C \Rightarrow XA = C + G \quad (6.1)$$

$$H \Rightarrow YA = 2D + 3E + 2F + 4G \quad (6.2)$$

$$O \Rightarrow ZA + 2B = 2C + D \quad (6.3)$$

$$N \Rightarrow WA = E \quad (6.4)$$

$$S \Rightarrow VA = F \quad (6.5)$$

A continuación se trabajará con las ecuaciones antes descritas.

La ecuación 6.4 y 6.5 son las más simples, por lo que se dejarán tal como están y se reemplazarán en la ecuación 6.2.

$$\begin{aligned} YA &= 2D + 3WA + 2VA + 4G \\ A(Y - 3W - 2V) &= 2D + 4G \end{aligned} \quad (6.6)$$

Despejando D de la ecuación 3 queda de la siguiente manera:

$$D = ZA + 2B - 2C \quad (6.7)$$

Despejando G de la ecuación 6.1, para simplificar aun más las ecuaciones, queda de la siguiente manera:

$$G = XA - C \quad (6.8)$$

Reemplazando las ecuaciones 6.7 y 6.8 en la 6. 6 queda de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} A(Y - 3W - 2V) &= 2(ZA + 2B - 2C) + 4(XA - C) \\ C &= \frac{4B - A(Y - 3W - 2V - 4X - 2Z)}{8} \end{aligned} \quad (6.9)$$

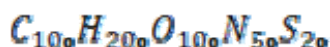
$$D = ZA + 2B - 2\left(\frac{4B - A(Y - 3W - 2V - 4X - 2Z)}{8}\right) \quad (6.10)$$

$$G = XA - \frac{4B - A(Y - 3W - 2V - 4X - 2Z)}{8} \quad (6.11)$$

Para completar el balance hay que darse el valor de A y tantear con el valor de B para encontrar la razón (porcentajes o fracción) de los gases de salida.

6.2 - Balance de Masa

Para poder realizar el balance de masa del proceso, es necesario tener claro con qué molécula se está trabajando, al desconocer los subíndices de cada componente de la materia orgánica, se procedió a estimar una molécula con un alto contenido de C, H, O, N y S. Para este efecto se trabajará con el siguiente compuesto:



Luego de fijarse los subíndices de la molécula, es de vital importancia conocer cuál es el porcentaje de conversión de la materia orgánica en compost. Haciendo una exhaustiva búsqueda bibliográfica se encontró que la fermentación aerobia varía entre un 20 y un 50%.

Por otra parte, se tomará para efectos de cálculos el porcentaje de conversión obtenido en la etapa 2 del proyecto Compost, el cual alcanzó una conversión aproximada del 22%. Teniendo esto podemos decir que el 78% restante de los residuos utilizados en el compostaje pasó a formar parte de los gases emitidos por este proceso.

Hay que tener en cuenta que en este proceso, además de CO₂ y H₂O, se formarán productos indeseados como lo son el NH₃, H₂S y el CH₄, por lo que se debe considerar la existencia de ellos en los gases emitidos durante el compostaje.

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

A continuación en la figura 6.1 se muestra un bosquejo del proceso con la entrada y salida de los reactivos y productos.

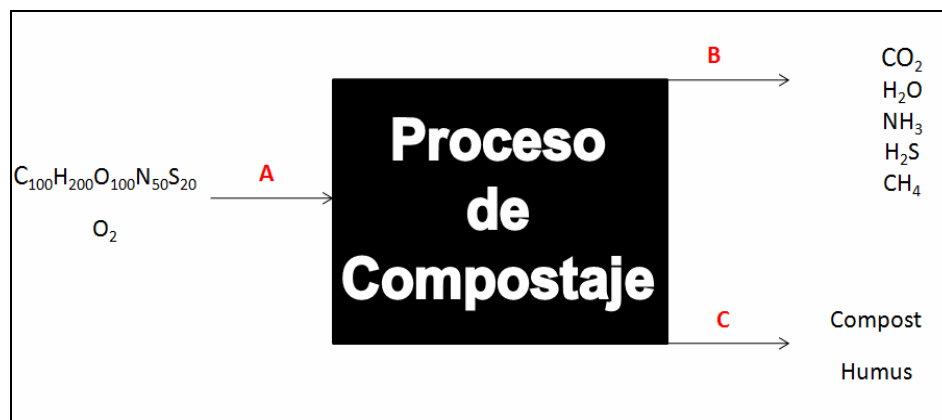


Figura 6.1 Imagen del preliminar del balance de masa

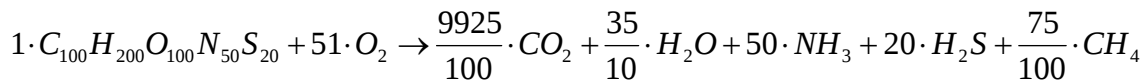
Teniendo en cuenta las ecuaciones descritas en el punto 6.1, es que se realizó un programa en Visual Basic con el cual se buscó los coeficientes de cada gas liberado en este proceso, del cual se encuentran anexadas 3 imágenes (figuras 10.5-10.6-10.7).

Para el programa se tuvo en cuenta principalmente tres puntos:

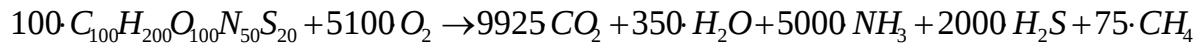
- Lo importante de este balance es la relación de cada gas en la corriente de salida "B"
- Dejar algún subíndice para la formación de CH_4 , ya que este depende indirectamente de la cantidad de O_2 que se suministre al proceso
- Considerar que la liberación de NH_3 y H_2S dependerá exclusivamente de cuanto H, N y S se agregue al proceso.

Por lo tanto teniendo estos puntos claro se estimó un balance aproximado de la reacción, el cual arrojó como resultado la siguiente ecuación ya balanceada:

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS



También podría escribirse de la siguiente manera:



Al tener la ecuación balanceada se debe considerar que se ocupará un proceso de Vermicompost, por lo que se debe restar a este 78% la cantidad de materia orgánica que comerán las lombrices. Además de esto, se debe tener claro que de lo que ellas comen el 60% es humus, el 30% gases (los cuales irán directamente al metano) y el 10% proteínas (los que también formarán parte del producto final).

Por último se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- Fijar un tiempo determinado para el proyecto (200 días app.).
- Cantidad de Lombrices a utilizar (2000 lombrices).
- Fijar cuando se introducirán las lombrices (a 150 días del término del proceso).

En la tabla n°8 se muestra el peso molecular, moles, masa y porcentaje másico de cada gas en la corriente “B”

Tabla nº8 Balance de masa de los gases

Especie	PM	Moles	Masa (kg)	Aporte Lombrices (kg)	% Másico gases de salida
$C_{100}H_{200}O_{100}N_{50}S_{20}$	4340	1,783	7740,000		----
O_2	32	90,954	2910,525		---
CO_2	44	177,003	7788,152		73,001
H_2O	18	6,242	112,355		1,054
NH_3	17	89,171	1515,899		14,209
H_2S	34	35,668	1212,719		11,367
CH_4	16	1,338	21,401	18	0,369

Por lo tanto el balance de masa quedará de la siguiente manera, como se muestra en la figura 6.2:

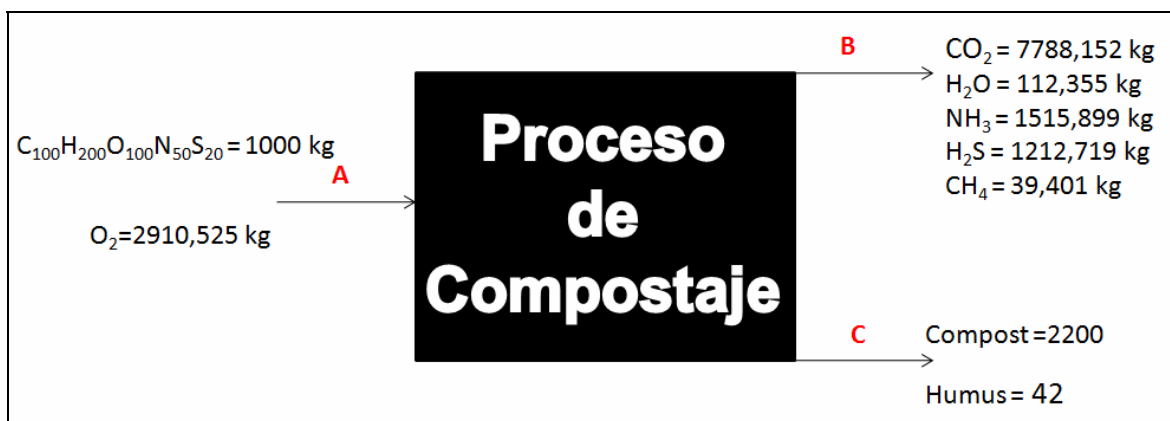


Figura 6.2 Imagen del proceso balanceado

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

Para comprobar que efectivamente el balance de masa está correcto se sumó la masa de la corriente de entrada y se igualó con la suma de las corrientes “B” y “C”, obteniendo como resultado el mismo número en ambos lados, por lo que el balance de masa está correcto.

$$\text{Entrada} = 12910,525 \text{ kg}$$

$$\text{Salida} = 12910,525 \text{ kg}$$

6.3 - Balance de Energía

Para este balance es necesario saber que los microorganismos generan su propia energía para degradar la materia orgánica, ya que el aumento de temperatura es directamente proporcional a la actividad microbiana y la cantidad de microorganismos es directamente proporcional a la cantidad de materia orgánica dispuesta para el compostaje, es por esto que solamente se debe calcular el calor emitido o perdido tanto por las paredes como en los gases de salida.

El calor perdido o emitido en las paredes será calculado en el punto 6.4, ya que formará parte del diseño de la planta.

Para los cálculos del calor perdido en los gases se debe tener en consideración algunos puntos que se detallan a continuación:

- Se fijará la temperatura ambiente dada por las condiciones presentadas en la faena minera, la cual es aproximadamente de $-7,1^{\circ}\text{C}$, se escogió la temperatura mínima ya que es en donde el proceso perderá más calor.

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

- Se estimará que la liberación de los gases dependerá de la etapa en que esté el proceso, siendo estos liberados en la aireación la cual se debe realizar cada 15 días aproximadamente.
- La duración de las etapas se estimó que serán aproximadamente de:
 - o Mesofilica 15 días
 - o Termofilica 55 Días
 - o Enfriamiento 65 días
 - o Maduración 65 días
- La temperatura se tomará aproximadamente en el punto máximo de cada etapa del proceso, todo esto será estimado según la figura 4.2.

Se calculará el calor perdido con la siguiente fórmula, ya que la degradación la realizan los microorganismos:

$$Q = M \cdot Cp \cdot \Delta T \quad (6.12)$$

A continuación se da a conocer la tabla n°9, que muestra las capacidades caloríficas de cada gas liberado²⁵:

Tabla n° 9 Capacidad caloríficas de los gases

Especie	Cp.	Unidades	Masa por aireación
CO2	850	J/Kg °C	599,089
H2O	1820	J/Kg °C	8,643
NH3	2190	J/Kg °C	378,975
H2S	1003	J/Kg °C	93,286
CH4	2237	J/Kg °C	3,031

La tabla n°10 entrega una estimación del calor perdido en cada etapa del proceso de compostaje si se dieran las condiciones ideales para él.

Tabla n°10 Estimación del calor perdido

T Compost (°C)	T Ambiente (°C)	Aireación	Etapas	Calor liberado (kJ)	Especie
40	-7,1	1	Mesofilica	-29451,67341	CO ₂ , H ₂ O, H ₂ S, CH ₄
65	-7,1	4	Termofilica	-419695,6616	CO ₂ , H ₂ O, H ₂ S, CH ₄ , NH ₃
60	-7,1	4	Enfriamiento	-167830,7674	CO ₂ , H ₂ O, H ₂ S, CH ₄
15	-7,1	4	Maduración	-55276,60147	CO ₂ , H ₂ O, H ₂ S, CH ₄

Por lo que el calor perdido durante todo el proceso de compostaje será:

Total (kJ)	-672254,7039
Total (kJ/kg de materia orgánica)	-67,225

Hay que tener claro que esta estimación es realizada con la temperatura mínima entregada (-7,1°C), por lo que esta energía calórica será la máxima liberada en condiciones ideales durante el proceso de compostaje. Con esto se está pensando en las peores condiciones que enfrentaría el proceso.

6.4 - Cálculo de espesor de pared

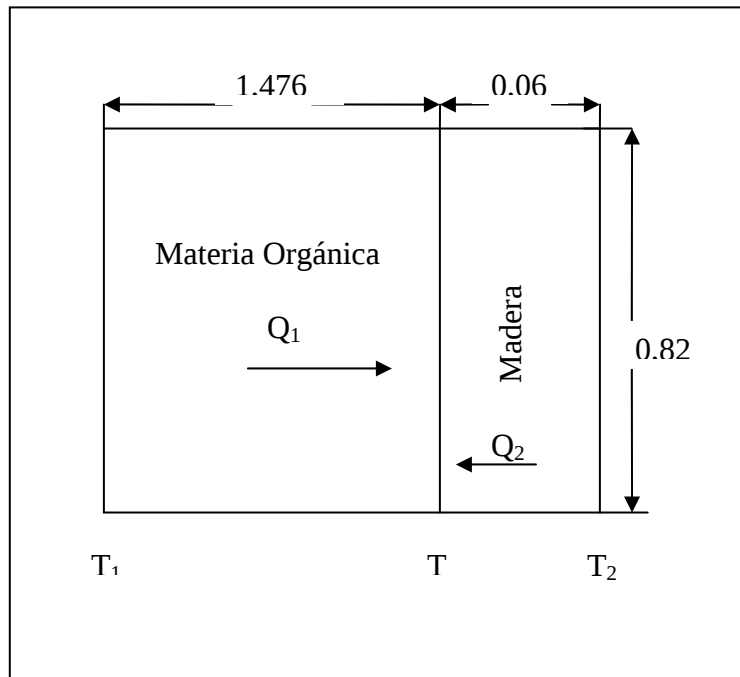


Figura 6.3 Transferencia de calor entre la materia orgánica y la madera (mediciones en pie)

Área de transferencia:

Base: $90\text{ cm} \rightarrow 2,952\text{ pie}$

Altura: $25\text{ cm} \rightarrow 0,82\text{ pie}$

Por lo tanto el área de transferencia es: $2,952 \cdot 0,82 = 2,421\text{ pie}^2$

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

De la tabla 2: “Conductividades térmicas de aislantes y materiales de construcción”, del libro Procesos de Transferencia de Calor Donald Q. Kern, se extrajo la constante de convección para la madera.

$$k = 0,2 \frac{BTU}{h \text{ pie } ^\circ F}$$

Luego de esto se tomó un promedio de temperaturas, ya que es necesario obtener la constante de convección de la materia orgánica, por lo que se realizó mediciones en el centro de la compostera, entre la materia orgánica, la madera y el exterior de esta última, con lo que se obtuvieron las siguientes temperaturas:

$$T_1 = 28^\circ C = 82,4^\circ F$$

$$T = 12^\circ C = 53,6^\circ F$$

$$T_2 = 5^\circ C = 41^\circ F$$

Para continuar con la primera parte de los cálculos, es necesario saber que cuando una sustancia se encuentra detenida o en estado estacionario, el calor transferido desde un lado hacia otro es el mismo¹⁷, así como se muestra en la figura 6.4.

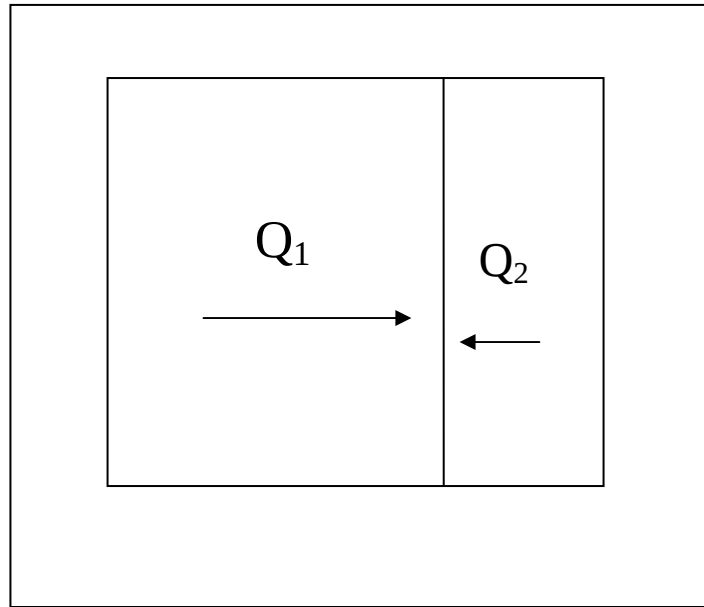


Figura 6.4 Transferencia de calor entre dos sustancias en estado estacionario

Por lo tanto:

$$Q_1 = Q_2 \quad (6.13)$$

Además se sabe que:

$$Q_1 = \frac{(T - T_1) \cdot k_1 \cdot A}{L_1} \quad (6.14)$$

$$Q_2 = \frac{(T - T_2) \cdot k_2 \cdot A}{L_2} \quad (6.15)$$

Donde:

T = La temperatura de la pared entre la madera y la materia orgánica

T₁ = La temperatura de la materia orgánica

T₂ = La temperatura de la pared exterior la madera

K₁ = Constante de Convección de la materia orgánica

K₂ = Constante de Convección de la madera

A = Área de transferencia

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

L_1 y L_2 = Espesor de cada material

Por lo tanto el Calor total tendría la siguiente fórmula:

$$Q_{total} = \frac{T_2 - T_1}{\frac{L_1}{k_1 \cdot A} + \frac{L_2}{k_2 \cdot A}} \quad (6.16)$$

Reemplazando los valores en la ecuación 6.14 y luego igualando los resultados con la ecuación 6.15, podemos calcular el calor transferido desde afuera hacia adentro de la compostera.

$$Q_2 = \frac{(41 - 53,6) \cdot 0,2 \cdot 2,421}{0,06} = -101,682 \text{ BTU/h}$$

$$-101,682 = \frac{(53,6 - 82,4) \cdot 2,421 \cdot k_1}{1,476}$$

$$k_1 = 2,15 \frac{\text{BTU}}{\text{h pie } ^\circ\text{F}}$$

Comprobando que el calor total es igual que cada uno de los calores transferidos, son reemplazados los datos obtenidos en la ecuación 6.15.

$$Q_{total} = \frac{(41 - 82,4)}{\frac{1,476}{2,15 \cdot 2,421} + \frac{0,06}{0,2 \cdot 2,421}} = -101,6 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

Ahora se puede obtener el espesor del material a utilizar para el nuevo volumen de residuos a compostar. Esta vez se debe tener en cuenta que se recubrirá el interior de la compostera con una carpeta de HDPE de 4mm de espesor, la cual fue recomendada por personal del área de construcción de Barrick Zaldívar, para evitar las filtraciones que pudieran quedar en el concreto.

Área de transferencia:

Base: $8\text{ m} \rightarrow 26,24\text{ pie}$

Altura: $0,8\text{ m} \rightarrow 2,624\text{ pie}$

Por lo tanto el área de transferencia es: $26,24 \cdot 2,624 = 6,885\text{ pie}^2$

De la tabla 2: “Conductividades térmicas de aislantes y materiales de construcción”, del libro Procesos de Transferencia de Calor Donald Q. Kern, se extrajo la constante de convección para el concreto.

$$k = 0,54 \frac{BTU}{h\text{ pie } ^\circ F}$$

Se tomó un aproximado de temperaturas que se desean tener en el interior de la compostera y como se sabe que el mínimo de temperatura que necesitan las lombrices para reproducirse y así degradar en un mayor porcentaje la materia orgánica es 7°C, se tomará esta como la temperatura de pared entre la materia orgánica y la carpeta de HDPE. En el medio de la compostera se pretende como mínimo mantener la temperatura que se encontró en la compostera actual, por lo que se utilizarán los 28°C registrados anteriormente, por ultimo al exterior se tomará la mínima temperatura registrada en la faena minera, la cual es aproximadamente -7.1°C.

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

De bibliografía se pudo obtener la conductividad térmica de la carpeta de HDPE, la cual es²²:

$$k = 0,0007 \frac{Cal}{s\ cm\ ^\circ C}$$

Haciendo el respectivo cambio de unidades, se puede decir que el coeficiente de conductividad del HDPE es:

$$k = 0,169 \frac{BTU}{h\ pie\ ^\circ F}$$

Temperaturas en el Proceso:

$$T_1 = 28^\circ C = 82,4^\circ F$$

$$T_3 = 7^\circ C = 44.6^\circ F$$

$$T = X$$

$$T_2 = -7,1^\circ C = 19,22^\circ F$$

Antes de seguir con el espesor de pared es necesario saber las dimensiones que tendrá la compostera. Si se considera 10 toneladas de materia orgánica con una densidad aparente de 800 kg/m³, se obtendrá un volumen de 12,5m³, a demás el personal de Barrick recomienda que para tener un buen manejo del proceso la altura no debe superar los 0,8m y el ancho debe ser de alrededor de 2m, por lo que el largo sería de 8m aproximadamente. Las medidas anteriormente señaladas serán las utilizadas para el diseño del equipo.

La compostera se dividió en dos partes debido a su simetría, por lo que el calor total perdido será el doble del calculado.

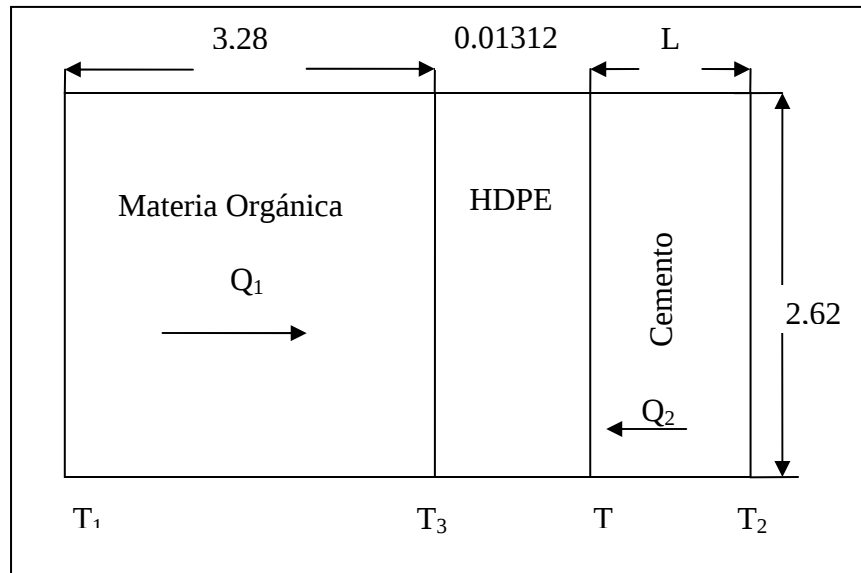


Figura 6.5 Transferencia de calor entre la materia orgánica, HDPE y el cemento
(Mediciones en pie)

Los calores estarían dados por las siguientes ecuaciones:

$$Q_1 = \frac{(44.6 - 82.4) \cdot 2.15 \cdot A}{3.28}$$

$$Q_2 = \frac{(T - 44.6) \cdot 0.169 \cdot A}{0.01312}$$

$$Q_1 = Q_2$$

$$\frac{(44.6 - 82.4) \cdot 2.15 \cdot A}{3.28} = \frac{(T - 44.6) \cdot 0.169 \cdot A}{0.01312}$$

$$T = 42.68 \text{ } ^\circ F \Rightarrow 5.93 \text{ } ^\circ C$$

Luego para calcular el espesor de la pared de concreto es necesario realizar el mismo procedimiento anterior, dejando el espesor "L" como incógnita.

El resultado sería de la siguiente manera:

$$Q_1 = \frac{(19,22 - 42,68) \cdot 0,54 \cdot A}{L}$$

$$Q_2 = \frac{(42,68 - 44,6) \cdot 0,169 \cdot A}{0,01312}$$

$$Q_1 = Q_2$$

$$\frac{(19,22 - 42,68) \cdot 0,54 \cdot A}{L} = \frac{(42,68 - 44,6) \cdot 0,169 \cdot A}{0,01312}$$

$$L = 0,512 \text{ pie} \approx 15,6 \text{ cm}$$

Calor liberado en cada etapa:

$$Q_{c/etapa} = \frac{2,15 \cdot 68,85}{3,28} \cdot (44,6 - 82,4) \approx \frac{0,169 \cdot 68,85}{0,01312} \cdot (42,68 - 44,6) \approx \frac{0,54 \cdot 68,85}{0,512} \cdot (19,22 - 42,68) \approx -1705 \frac{BTU}{h}$$

Comprobando que el calor total es igual que cada uno de los calores transferidos:

$$Q_{total} = \frac{(19,22 - 82,4)}{\frac{3,28}{2,15 \cdot 68,85} + \frac{0,512}{0,54 \cdot 68,85} + \frac{0,01312}{0,169 \cdot 68,85}} \approx -1705 \frac{BTU}{h}$$

Por lo tanto los cálculos de los calores son aproximadamente similares, lo que quiere decir que los cálculos fueron realizados de manera correcta.

6.5 - Cálculo Riego Hidráulico

Área total del lecho o cama:

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

$$2 \cdot 8 = 16m^2$$

Evaporación:

$$9,5 \frac{L}{m^2 \text{ día}}$$

Agua máxima perdida en el proceso:

$$16 m^2 \cdot 9,5 \frac{L}{m^2 \text{ día}} = 152 \frac{L}{\text{día}}$$

Si el agua se agrega a la materia orgánica por dos aspersores, cada uno tendría que ingresar 76 l/día y si esta agua es dividida en dos veces al día, cada vez se tendría que agregar 38l.

Se debe tener en cuenta que los aspersores pueden resistir una presión máxima de 20psi cada uno, pero como es necesario que los dos aparatos tengan presión, esta se regulará con unas válvulas incorporadas en el mismo aspersor y en el diseño hidráulico. Aún así se tomará la presión de 40psi para efectos de cálculos, con la única finalidad de asegurarnos que lo anterior ocurra sin ningún problema.

Por otro lado se debe mencionar que para que los aspersores lleguen a una distancia de 2 metros de radio, el caudal aproximado debe ser entre 72 L/h y 73 L/h, por lo que la cantidad de agua total que entregará la bomba a los aspersores será aproximadamente 145 L/h.

También se escogió una cañería de ½ pulgada de PVC para el transporte del agua a los aspersores, por lo que la velocidad en el interior de esta será:

$$V = \frac{145 \frac{L}{h} \cdot \frac{1 h}{3600 s} \cdot \frac{1 m^3}{1000 L}}{\frac{\pi \cdot 0,0127^2}{4}} = 0,32 \frac{m}{s} = 1,05 \frac{pis}{s}$$

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

Por lo tanto el caudal sería aproximadamente $0,041 \text{ l/s} = 0,3437 \text{ pie}^3/\text{s}$

Para continuar con el diseño hidráulico del proceso de riego es necesario calcular el número de Reynolds para saber si el flujo se encuentra en régimen laminar, transición o turbulento. La formula de Reynolds es¹⁹:

$$Re = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} \quad (6.17)$$

Donde:

$$\rho_{H_2O} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$V_{H_2O} = 0,32 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1,05 \frac{\text{pie}}{\text{s}}$$

$$\phi_i = 0,0127 \text{ m} = 0,0417 \text{ pie}$$

$$\mu_{H_2O} = 1,005 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m s}}$$

Reemplazando en la ecuación de Reynolds (6.15):

$$Re = \frac{0,0127 \text{ m} \cdot 0,32 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1,005 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m s}}} = 4064$$

Rangos de régimen:

$$Re < 2000 \text{ Laminar}$$

$$2000 \leq Re < 4000 \text{ Transición}$$

$$Re \geq 4000 \text{ Turbulento}$$

Por lo tanto nos encontramos en un régimen turbulento, lo que quiere decir que el movimiento del fluido es desordenado y no estacionario.

Se buscó y encontró el coeficiente de rugosidad del PVC el cual es¹⁸:

$$\epsilon_{PVC} = 0,0015 \text{ mm}$$

Teniendo este coeficiente y el diámetro interno de la cañería, podemos calcular la rugosidad en ésta para luego, utilizando el diagrama de Moody, obtener el coeficiente de fricción.

$$\text{rugosidad} = \frac{\epsilon}{D} = \frac{0,0015 \text{ mm}}{12,7 \text{ mm}} = 0,00012 \quad (6.18)$$

Para ocupar el diagrama de Moody se deben interceptar el número de Reynolds con la rugosidad, obteniendo el siguiente valor:

$$f = 0,04$$

Para continuar es necesario calcular las pérdidas menores producidas por los accesorios utilizados para este riego, entre los cuales podemos encontrar:

- Válvulas globos
- Reducciones
- Codos
- Tee

6.5.1 - Reducciones

Para el caso de las reducciones es necesario realizar unos cálculos para poder encontrar la constante que nos permitirá dar a conocer las perdidas exactas en éstas, para lo cual es necesario el ángulo de la unión que se encuentra entre un diámetro y otro así como se muestra en la figura 6.6.

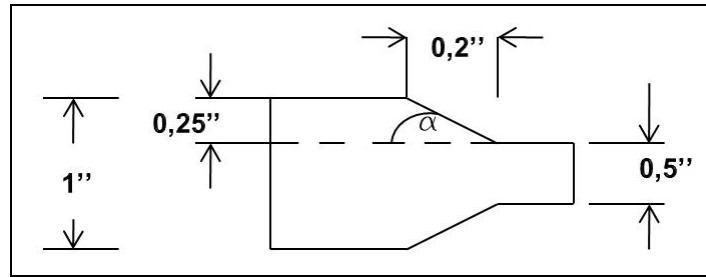


Figura 6.6 reducción de 1'' a 0,5''

Donde alfa es el ángulo buscado.

Para ello es necesario utilizar un poco de trigonometría básica como se muestra a continuación:

$$\tan \alpha = \frac{0,25}{0,2}$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{0,25}{0,2}\right)$$

Por lo tanto alfa tiene un ángulo de:

$$\alpha = 57^\circ$$

Para la otra reducción, el dibujo y los cálculos estarían representados como se muestra en la figura 6.7.

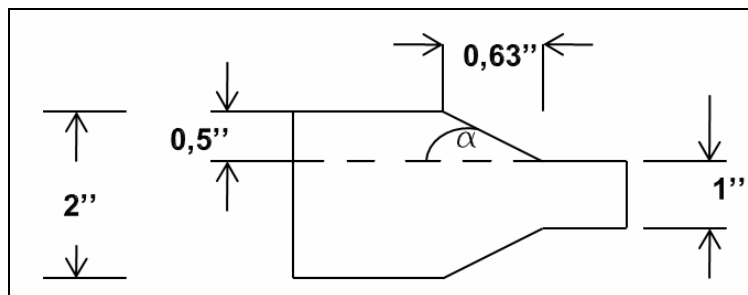


Figura 6.7 reducción de 2'' a 1''

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

$$\tan \alpha = \frac{0,5}{0,63}$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{0,5}{0,63}\right)$$

Por lo tanto alfa tiene un ángulo de:

$$\alpha = 42,71^\circ$$

Luego utilizando un gráfico del coeficiente de resistencia –contracción gradual con un ángulo mayor o igual a 15° se puede estimar la constante para las dos reducciones señaladas anteriormente.

Para entrar a éste gráfico es necesario tener el ángulo de la reducción de lado a lado y la relación entre los diámetros, por lo tanto se debe considerar dos veces el ángulo alfa.

Con el gráfico del coeficiente de resistencia- contracción gradual del libro, Mecánica de Fluidos Aplicada, 4ta edición, Robert L Mott (Figura 10.2 del anexo), podemos decir que los coeficientes de resistencia serán:

$$2\alpha = 57 \cdot 2 = 114^\circ$$

k para figura 6.6 = 0,23

$$2\alpha = 42,71 \cdot 2 = 85,42^\circ$$

k para figura 6.7 = 0,16

Por otro lado los coeficientes de resistencia de los otros accesorios ya están estipulados y se muestran a continuación:

Tabla n° 11 Coeficientes de resistencia

Accesorio	Coeficiente de resistencia (k)
Válvula Globo	10
Tee	1,8
Codo	0,9

A continuación, en las figuras 6.8, 6.9 y 6.10, se muestran las vistas del riego hidráulico con sus respectivas mediciones:

Para continuar con las pérdidas menores se trazaron cuatro tramos por donde fluiría el líquido: tramo A-C, A-D, B-C y B-D, así como se muestra en la figura 6.11.

.

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

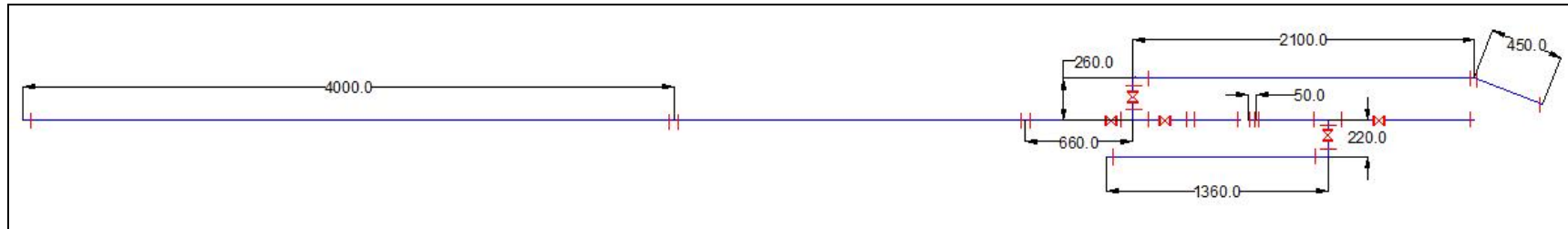


Figura 6.8 Vista superior del riego hidráulico.

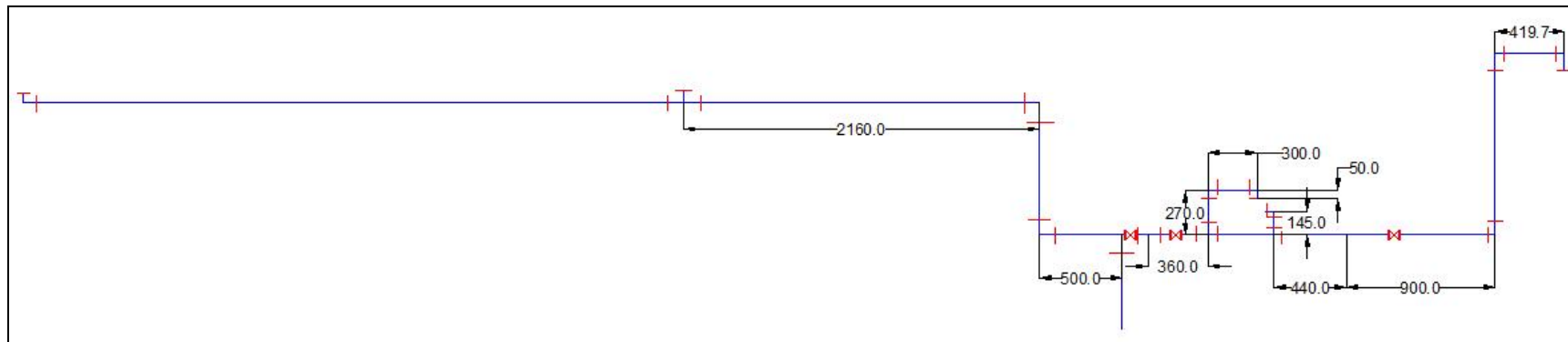


Figura 6.9 Vista Frontal del riego hidráulico.

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

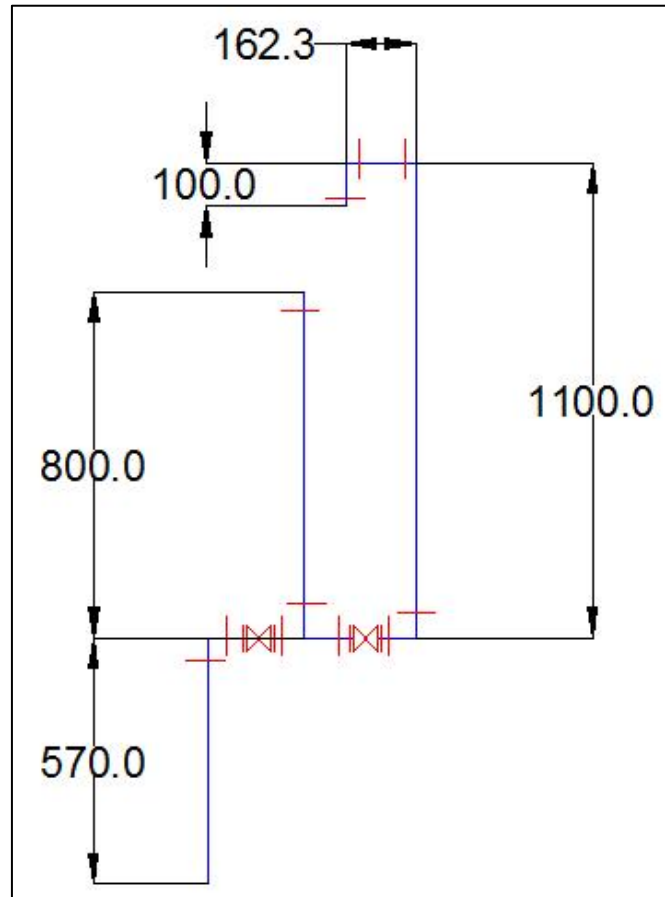


Figura 6.10 Vista Lateral derecho del riego hidráulico

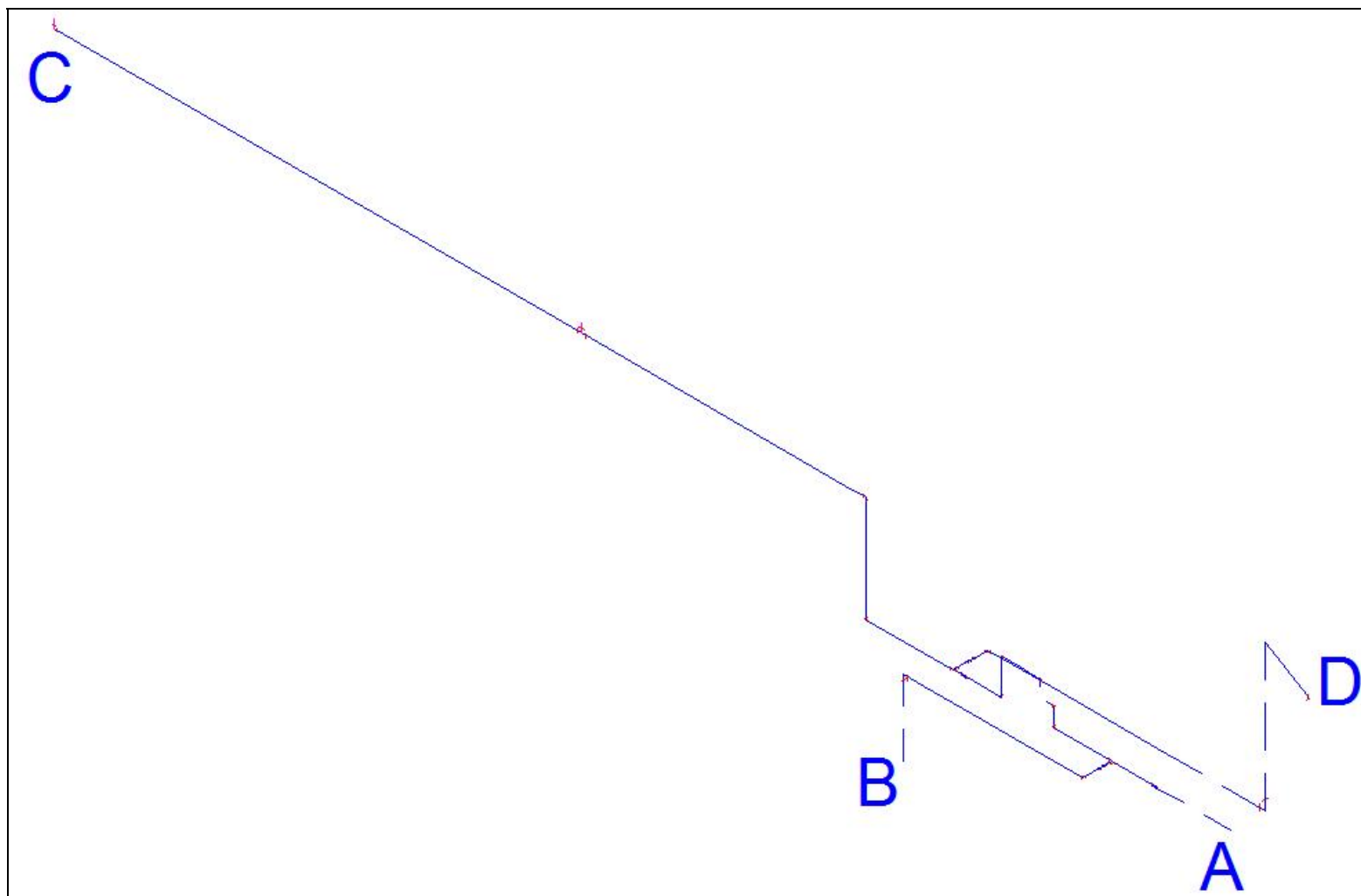


Figura 6.11 Dibujo isométrico de las cañerías para riego con aspersores.

6.5.2 - Perdidas Menores

Pérdidas menores en el tramo A-C:

Primero es necesario calcular el largo equivalente de todos los accesorios involucrados en este tramo.

- Cañería = 10,135 m = 33,25 pie
- 2 Reducciones
- 3 Tee
- 3 Válvulas
- 8 Codos

Para el largo equivalente de estos 4 últimos es necesario realizar el siguiente cálculo:

$$L_{eq} = \frac{\sum(k \cdot cantidad) \cdot diametro}{f} \quad (6.19)$$

$$L_{eq} = \frac{(0,9 \cdot 8 + 1,8 \cdot 3 + 3 \cdot 10 + 0,16 \cdot 1 + 0,23 \cdot 1) \cdot 0,0127}{0,04} = 13,65 \text{ m} = 44,78 \text{ pie}$$

Pérdidas menores en el tramo A-D:

- Cañería = 6,525 m = 21,40 pie
- 2 Reducciones
- 2 Tee
- 3 Válvulas
- 9 Codos

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

$$L_{eq} = \frac{(0,9 \cdot 9 + 1,8 \cdot 2 + 3 \cdot 10 + 0,16 \cdot 1 + 0,23 \cdot 1) \cdot 0,0127}{0,04} = 13,3 \text{ m} = 43,63 \text{ pie}$$

Pérdidas menores en el tramo B-C:

- Cañería = 11,385 m = 37,35 pie
- 3 Tee
- 3 Válvulas
- 10 Codos

$$L_{eq} = \frac{(0,9 \cdot 10 + 1,8 \cdot 3 + 3 \cdot 10) \cdot 0,0127}{0,04} = 14,1 \text{ m} = 46,26 \text{ pie}$$

Pérdidas menores en el tramo B-D:

- Cañería = 7,775 m = 25,51 pie
- 2 Tee
- 3 Válvulas
- 11 Codos

$$L_{eq} = \frac{(0,9 \cdot 11 + 1,8 \cdot 2 + 3 \cdot 10) \cdot 0,0127}{0,04} = 13,8 \text{ m} = 45,28 \text{ pie}$$

Teniendo los largos equivalentes de todos los tramos se puede obtener las pérdidas totales en el trayecto del líquido por la cañería, mediante la siguiente fórmula:

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

$$h_f \text{ total} = f \cdot \frac{(L + L_{eq})}{\phi_{\text{interno}}} \cdot \frac{v^3}{2gc} \quad (6.20)$$

Pérdidas totales en el tramo A-C:

$$h_f \text{ total} = 0,04 \cdot \frac{33,25 + 44,78}{0,0417} \cdot \frac{1,05^3}{2 \cdot 32,2} = 1,28 \frac{\text{pie} \cdot \text{lb}_f}{\text{lbm}}$$

Pérdidas totales en el tramo A-D:

$$h_f \text{ total} = 0,04 \cdot \frac{21,40 + 43,68}{0,0417} \cdot \frac{1,05^3}{2 \cdot 32,2} = 1,07 \frac{\text{pie} \cdot \text{lb}_f}{\text{lbm}}$$

Pérdidas totales en el tramo B-C:

$$h_f \text{ total} = 0,04 \cdot \frac{37,35 + 46,26}{0,0417} \cdot \frac{1,05^3}{2 \cdot 32,2} = 1,37 \frac{\text{pie} \cdot \text{lb}_f}{\text{lbm}}$$

Pérdidas totales en el tramo B-D:

$$h_f \text{ total} = 0,04 \cdot \frac{25,51 + 45,28}{0,0417} \cdot \frac{1,05^3}{2 \cdot 32,2} = 1,16 \frac{\text{pie} \cdot \text{lb}_f}{\text{lbm}}$$

Luego de tener las pérdidas totales es necesario realizar un balance de energía (Bernoulli) entre los puntos antes descritos para finalmente encontrar la potencia mínima de la bomba. La ecuación de Bernoulli es la siguiente:

$$W = h_f \text{ total} + \left[\frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2gc} + Z_2 \frac{g}{gc} \right] - \left[\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2gc} + Z_1 \frac{g}{gc} \right] \quad (6.19)$$

Tramo A-C con base en C: Con esto se elimina la altura Z_2 y como la velocidad en A es demasiado pequeña, también se desprecia para efectos de este cálculo.

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

Además al tomar el punto A sobre la superficie del agua se tendrá como P1 la presión atmosférica.

$$62.4 \frac{\text{lbm}}{\text{pie}^3}$$

$$W = 59.02 \frac{\text{pie} \cdot \text{lb}f}{\text{lbm}}$$

Teniendo el Bernoulli listo es posible calcular la potencia de la bomba (HP) con la siguiente fórmula:

$$P = \frac{W \cdot p \cdot Q}{550 \cdot n} \quad (6.21)$$

Donde η es la eficiencia de la bomba, la cual en este caso se tomará como 65% ya que es la más utilizada para este tipo de cálculos.

Por lo tanto la potencia mínima para este tramo es:

$$P = \frac{59.02 \frac{\text{pie} \cdot \text{lb}f}{\text{lbm}} \cdot 0.03437 \frac{\text{pie}^3}{s} \cdot 62.4 \frac{\text{lbm}}{\text{pie}^3}}{550 \cdot 0.65} = 0.354 \text{ HP}$$

La potencia nominal es la potencia máxima que demanda una maquinaria o aparato en condiciones normales, esta se calcula con la ecuación 6.21.

$$P_{\text{nominal}} = \text{Potencia} \cdot 1.18 \quad (6.22)$$

$$P_{\text{nominal}} = 0.418 \text{ HP}$$

Tramo A-D con base en A: Con esto se elimina la altura Z_1 y Z_2 , además la presión en ambos puntos es igual (presión atmosférica), por lo que también se anulan y

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

como la velocidad en A es demasiado pequeña se desprecia para efectos de este cálculo.

$$W = 1,07 \frac{\text{pie} \cdot \text{lb}f}{\text{lbm}} + \left[\frac{\left(1,03 \frac{\text{pie}}{s}\right)^2}{2 \cdot 32,2 \frac{\text{lbm} \cdot \text{pie}}{\text{lb}f \cdot s^2}} \right]$$

$$W = 1,087 \frac{\text{pie} \cdot \text{lb}f}{\text{lbm}}$$

Teniendo el Bernoulli listo es posible calcular la potencia de la bomba con la fórmula 6.21.

Por lo tanto la potencia mínima para este tramo es:

$$P = \frac{1,087 \frac{\text{pie} \cdot \text{lb}f}{\text{lbm}} \cdot 0,03437 \frac{\text{pie}^3}{s} \cdot 62,4 \frac{\text{lbm}}{\text{pie}^3}}{550 \cdot 0,65} = 0,0090 \text{ HP}$$

Potencia nominal:

$$P_{\text{nominal}} = 0,010 \text{ HP}$$

Tramo B-C con base en C: Con esto se elimina la altura Z_2 y como la velocidad en B es demasiado pequeña se desprecia para efectos de este cálculo

$$62,4 \frac{\text{lbm}}{\text{pie}^3}$$

$$W = 64,26 \frac{\text{pie} \cdot \text{lb}f}{\text{lbm}}$$

Teniendo el Bernoulli listo es posible calcular la potencia de la bomba con la fórmula 6.21.

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

Por lo tanto la potencia mínima para este tramo es:

$$P = \frac{62,26 \frac{\text{pie} \cdot \text{lbf}}{\text{lbm}} \cdot 0,03437 \frac{\text{pie}^3}{\text{s}} \cdot 62,4 \frac{\text{lbm}}{\text{pie}^3}}{550 \cdot 0,65} = 0,385 \text{ HP}$$

Potencia nominal:

$$P_{\text{nominal}} = 0,4543 \text{ HP}$$

Tramo B-D con base en B: Con esto se elimina la altura Z_1 , además la presión en ambos puntos es igual (presión atmosférica) por lo tanto se anulan y como la velocidad en B es demasiado pequeña se desprecia para efectos de este cálculo

$$W = 1,16 \frac{\text{pie} \cdot \text{lbf}}{\text{lbm}} + \left[\frac{\left(1,05 \frac{\text{pie}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 32,2 \frac{\text{lbm} \cdot \text{pie}}{\text{lbf} \cdot \text{s}^2}} \right] + \frac{1,57}{0,3048} \cdot \frac{32,2 \frac{\text{pie}}{\text{s}^2}}{32,2 \frac{\text{lbm} \cdot \text{pie}}{\text{lbf} \cdot \text{s}^2}}$$

$$W = 6,32 \frac{\text{pie} \cdot \text{lbf}}{\text{lbm}}$$

Teniendo el Bernoulli listo es posible calcular la potencia de la bomba con la fórmula 6.21.

Por lo tanto la potencia mínima para este tramo es:

$$P = \frac{6,32 \frac{\text{pie} \cdot \text{lbf}}{\text{lbm}} \cdot 0,03437 \frac{\text{pie}^3}{\text{s}} \cdot 62,4 \frac{\text{lbm}}{\text{pie}^3}}{550 \cdot 0,65} = 0,038 \text{ HP}$$

Potencia nominal:

$$P_{\text{nominal}} = 0,0448 \text{ HP}$$

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

Como la potencia de la bomba necesaria en cada uno de los tramos es menor a 0,5 HP, se utilizará una de este tipo para satisfacer cada una de las necesidades del proceso, a demás cabe señalar que este tipo de bombas son las más comunes y fáciles de encontrar en cualquier parte del comercio.

Además como se cuenta con una recirculación al depósito, el exceso de líquido se devolverá al estanque y sólo se dejará pasar a los aspersores la cantidad suficiente para que el riego sea el recomendado.

A Continuación se da a conocer las vistas de la compostera con sus respectivas cotas (figuras 6.12 – 6.13 y 6.14), además en la figura 6.15 se puede apreciar el dibujo isométrico final completo de la compostera y su riego hidráulico en autocad.

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

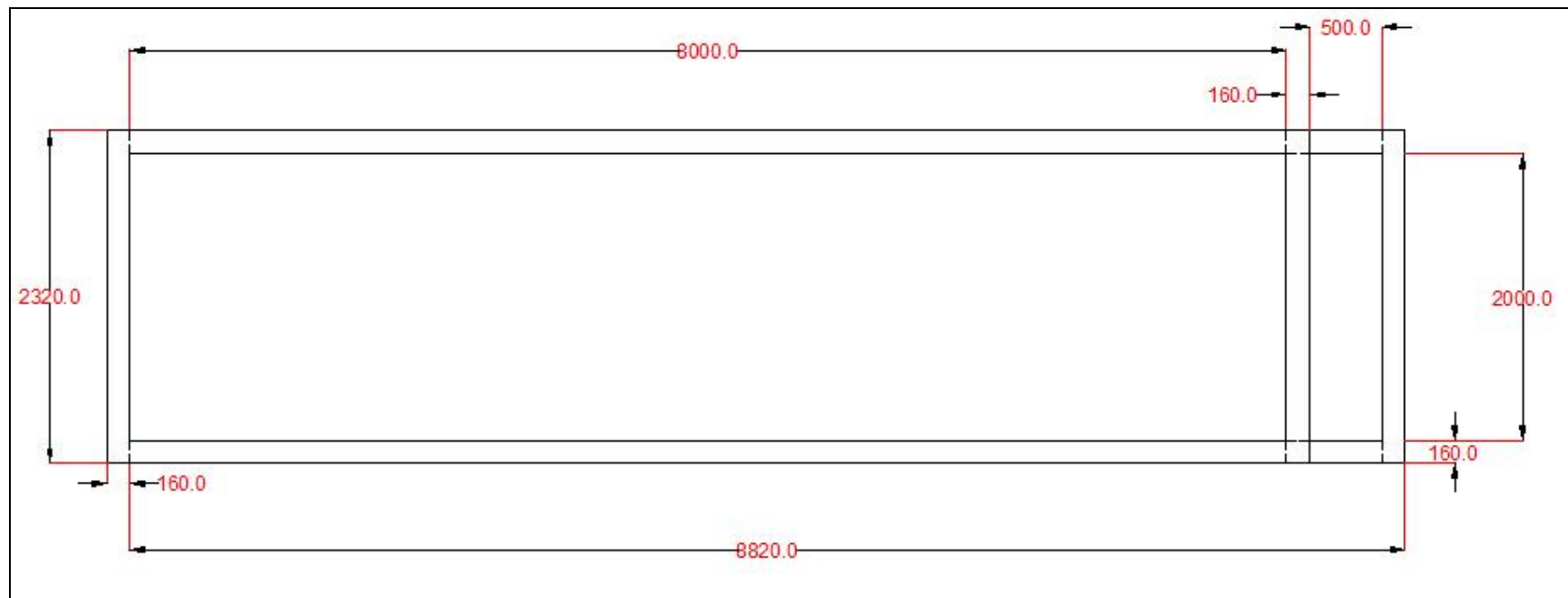


Figura 6.12 Vista Superior Construcción Civil

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

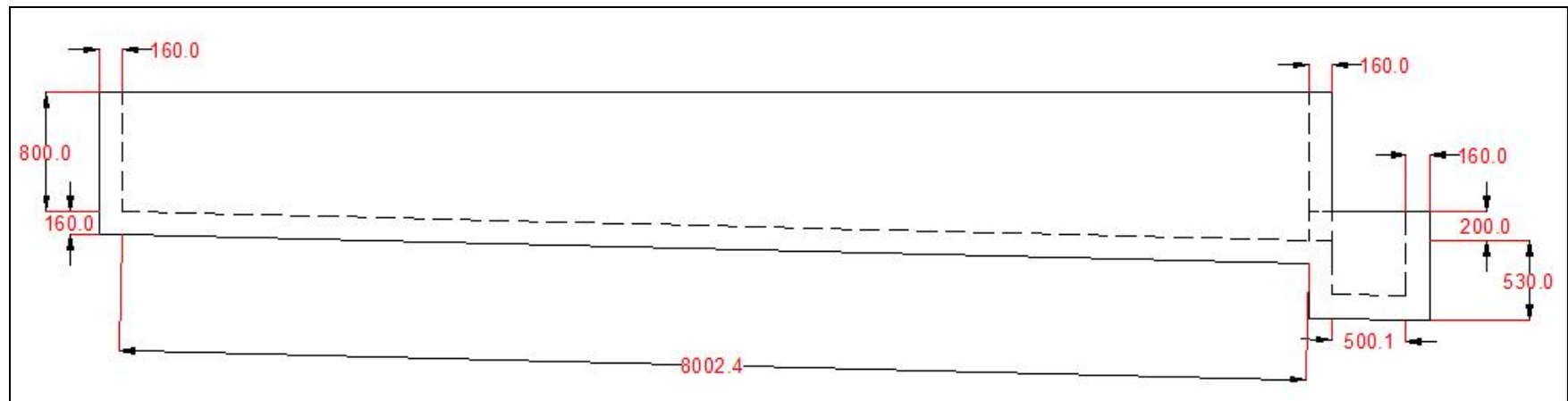


Figura 6.13 Vista Frontal Construcción Civil

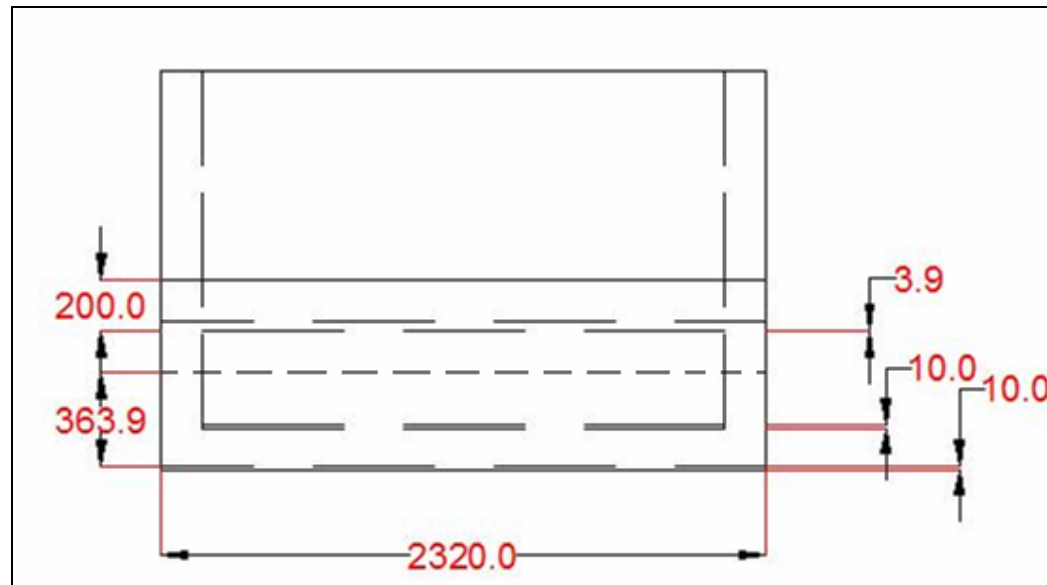


Figura 6.14 Vista Lateral Derecho Construcción Civil

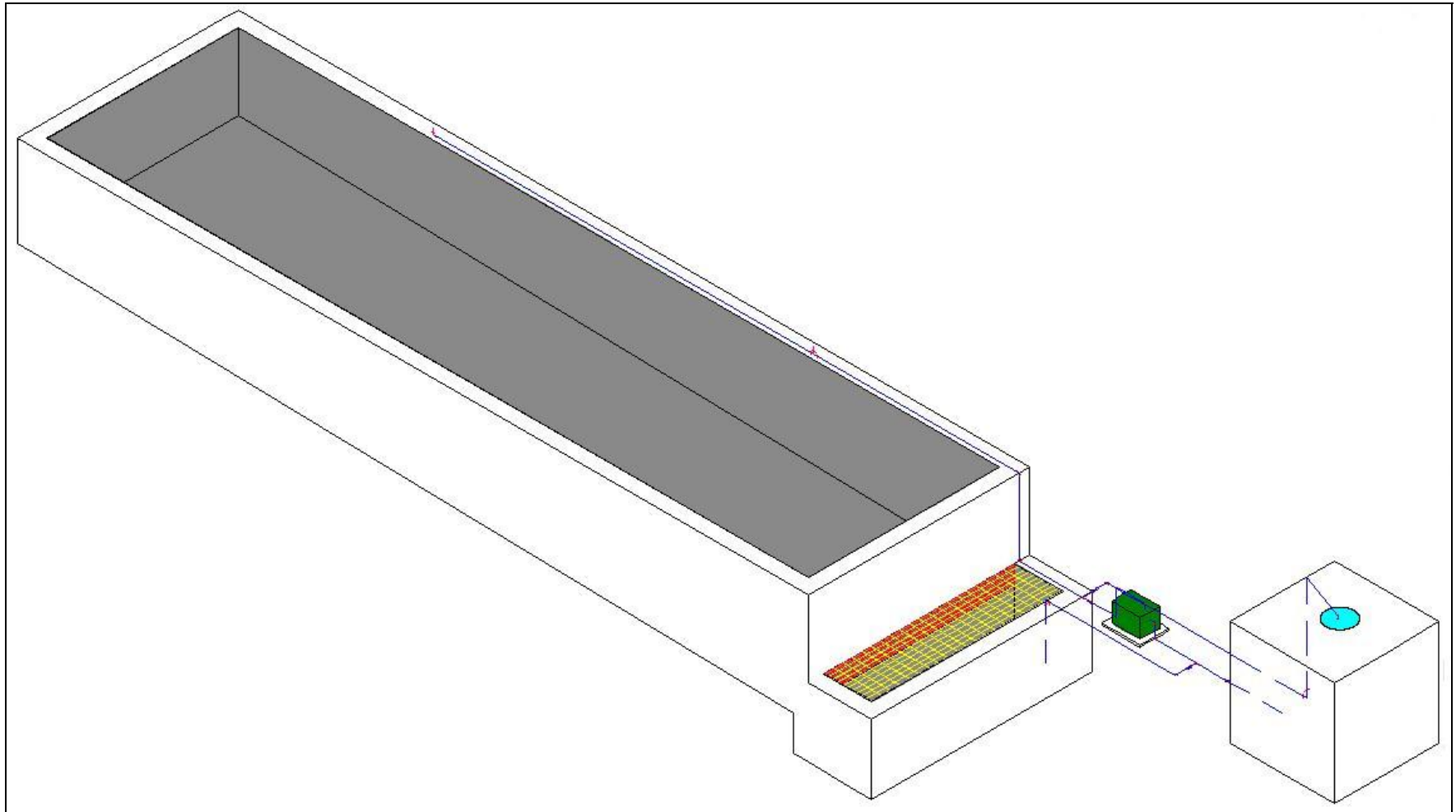


Figura 6.15 Dibujo completo del lecho para el compostaje

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

Como se puede apreciar en la figura 6.13 el diseño contempla una inclinación para el escurrimiento del lixiviado o el exceso de agua en la mezcla, además este espacio agregado a la compostera servirá para integrar dentro del proceso de recuperación del percolado un filtro, el cual fue recomendado por personal que construyó una planta de tratamiento de agua en la faena minera con el sistema TOHA (el que utiliza un biofiltro con lombrices californianas), El filtro que se utilizará en la compostera consiste en una malla media sombra o rachel, una capa viruta de madera (que no debe poseer agentes tóxicos para la lombriz) y una capa de gravilla, asegurando así que no pasará material orgánico sólido de gran tamaño al riego hidráulico, además para que este filtro no se caiga al depósito de percolados, se considero un grating (rejilla) forrado con malla media sombra, el que será colocado en la abertura que conecta la compostera y el depósito de líquidos. Este se puede ver más claramente en la figura 6.15 el cual está representado de color rojo. Por último se tomó como medida de seguridad otro grating, también forrado con malla media sombra (para evitar la caída de tierra o alguna cosa al depósito), en la parte superior del depósito de líquidos para evitar que algún trabajador pudiera tener un accidente y caer al interior, lo cual se puede apreciar con un color amarillo en la figura 6.15.

A continuación en la figura 6.16 se muestra la distribución de la malla y las capas mencionadas anteriormente.

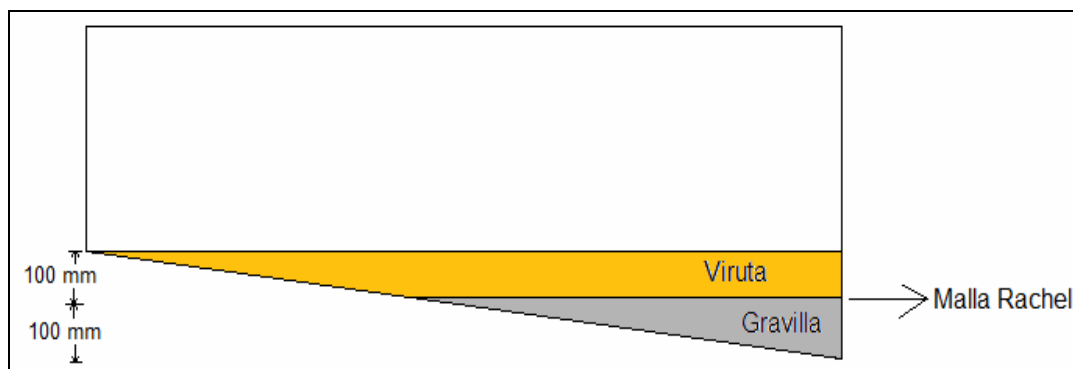


Figura 6.16 Distribución de las capas de relleno

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

Para terminar y tener una visión global del proceso se adjunta un flowsheet del proceso completo (Figura 6.17) desde la recolección de residuos hasta las bolsas para la distribución final del producto.

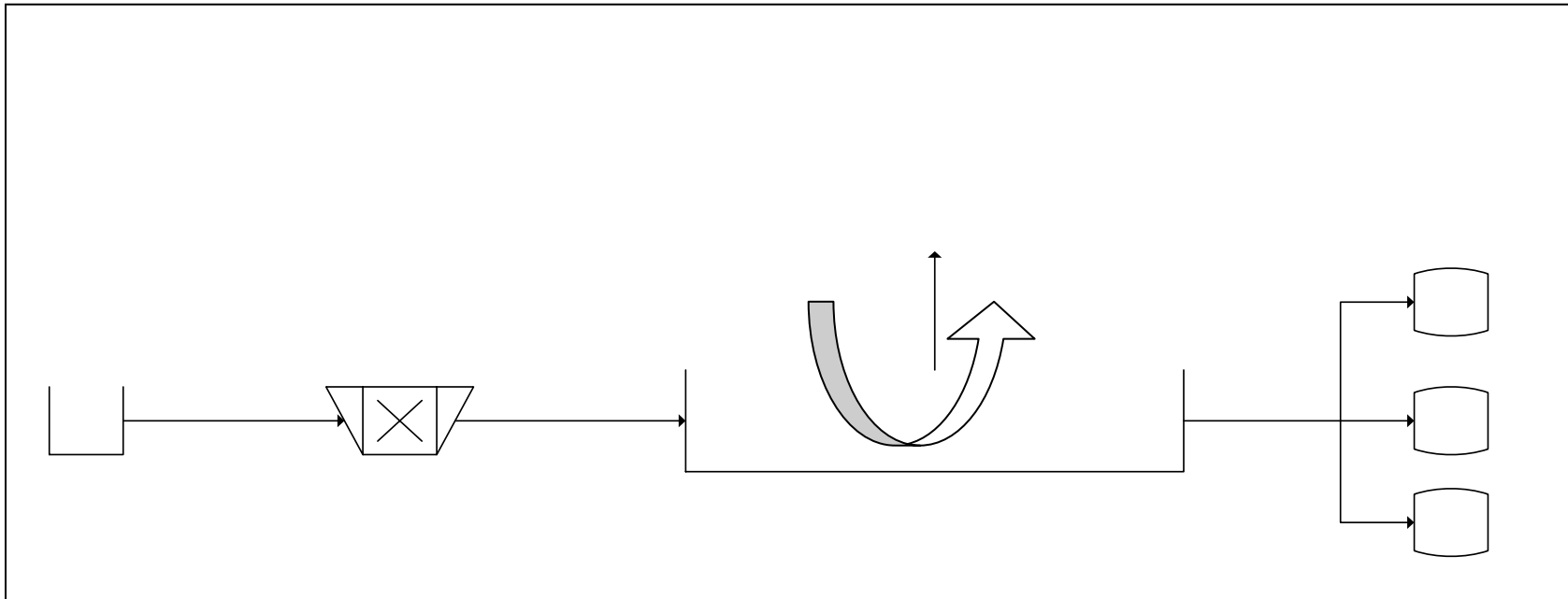


Figura 6.17 Flowsheet completo de la planta de tratamiento de residuos

Aireació

CAPÍTULO VII. ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LA PLANTA

7.1 - Aspectos generales para la estimación económica

Para poder obtener el valor total del proyecto es necesario hacer algunas estimaciones, las cuales se detallan a continuación:

Es de vital importancia tener claro el área total de la obra para poder estimar la inversión necesaria y mejora del proceso, por lo tanto haciendo una sumatoria simple podemos decir que el área de la obra es aproximadamente:

$$\text{Área lateral total de la obra app.} = 21 \text{ m}^2$$

Además se debe considerar una base para la construcción de la obra y según personal especializado de Barrick es necesario construir una base con las siguientes dimensiones:

$$3\text{m de ancho} \times 10\text{m de largo} = 30 \text{ m}^2$$

Claro está, que considerando esta base no se debe considerar la base de la compostera ya que esta misma servirá para colocar las paredes del equipo.

Por otro lado se averiguó los precios de algunos productos necesarios para la construcción de este proyecto los que se detallan en la tabla n°12.

Tabla n°12 Materiales de Construcción

Material	Precio (pesos)
Hormigón	150.000 / m ³
Bloques de concreto	880 c / u
Fierro	1.500 / kg
Bomba Hidráulica 0,5HP	20.000
Codos de pvc	78
Tee de pvc	121
Válvula de pvc	1.000
Reducciones de pvc	1.000
Tubos de pvc	352 / m
Aspersores 180°	2.000
Grating	60.000 / m ²
Relleno	80.000
Cemento	4000 / saco
Arena fina	2000 / saco

Los precios anteriores fueron obtenidos de datos en CMZ, EASY y SODIMAC.

7.2 - Para una construcción civil completa en hormigón armado

Considerando un espesor de 0,156 m según lo estipuló el diseño tendríamos el siguiente volumen:

$$(30 + 21) \text{ m}^2 \cdot 0,156 \text{ m} = 7,956 \text{ m}^3$$

Para no trabajar con la cantidad exacta de hormigón se utilizará para el análisis económico 8,5 m³.

$$8,5 \text{ m}^3 * 150.000 \frac{\$}{\text{m}^3} = \$1.275.000.-$$

7.2.1 - Materiales para el riego hidráulico

- Bomba \$20.000.-
- 14 Codos \$ 1.092.-
- 3 Tee \$ 363.-
- Reducciones \$ 2000.-
- 5 Válvulas \$ 5000.-
- 17 Metros aproximadamente de cañería \$5984.-
- 2 Aspersores 180° \$ 4000.-
- Costo total parte hidráulica y relleno app.: \$ 120.000.-

7.2.2 - Enfierradura del hormigón

El fierro proporciona al hormigón propiedades elásticas a la estructura, por lo que es importante estimar el valor a invertir en este producto.

Según investigación bibliográfica el fierro debe estar entre un 0,5% y un 3% del hormigón²¹. Por lo tanto haciendo unos cálculos se podrá obtener la cantidad a invertir en este material.

Para la construcción de este proyecto se tomará en cuenta un 1,5% de fierro, según especificaciones del área de proyecto de Barrick Zaldívar.

$$\frac{1,5}{100} * 8,5 \text{ m}^3 = 0,1275 \text{ m}^3 \text{ de fierro}$$

CAPÍTULO VII. ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LA PLANTA

Teniendo la densidad de este material es posible calcular la masa a ocupar de este.

$$\text{Densidad del Hierro} = 7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Por lo tanto la masa de fierro a utilizar es:

$$994,5 \text{ kg de fierro}$$

Cantidad a invertir en fierro:

$$1500 \frac{\$}{\text{kg}} * 994,5 \text{ kg} = \$ 1.491.750$$

También hay que considerar un par de grating para la retención del material filtrante y la cubierta del depósito de percolados, lo cual aumentaría el monto de inversión en \$120.000.

Por lo tanto la inversión total para este proyecto construido con hormigón armado será:

$$\text{Total obra} = \$3.006.750$$

Considerando un 50 % de mano de obra se obtiene:

$$\text{Mano de obra} = \$1.503.375$$

Por último es necesario tener un porcentaje de contingencia para resolver algún imprevisto, al cual en Barrick Zaldívar le otorgan un 20% de la obra incluyendo la mano de obra, por lo que este monto llegaría a:

$$\text{Contingencia} = \$902.023$$

$$\text{Total Proyecto} = \$5.412.150.-$$

7.3 - Para una construcción civil con bloques de cemento

Para esta opción es necesario utilizar una base igualmente de hormigón armado, por lo que se mantendrá el material y las dimensiones de esta, así como se dan a conocer a continuación:

$$3\text{m de ancho} \times 10\text{m de largo} = 30 \text{ m}^2$$

Además cumplirá con el diseño de 0,156m de espesor, por lo que el volumen será:

$$30 \text{ m}^2 \times 0,156\text{m} = 4,68 \text{ m}^3$$

$$\text{Los que equivalen a } \$702.000.-$$

Si se sabe que 12,5 bloques cubren 1m^2 , entonces la cantidad de bloques a utilizar será:

$$21 \text{ m}^2 \times 12,5 \frac{\text{bloques}}{\text{m}^2} = 262,5 \text{ bloques}$$

Pero para efectos de cualquier imprevisto (rotura de algún bloque) se ocuparán 300 bloques de las dimensiones aproximadas de 20 alto X 40 largo X 20 espesor, con esto se tendrá un sobredimensionamiento con respecto al diseño del equipo, pero como el espesor calculado es el mínimo (.156 m) esto beneficiará al desarrollo del proceso debido a que la temperatura será mayor a la mínima necesitada.

CAPÍTULO VII. ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LA PLANTA

Costo en bloques:

$$880 \frac{\$}{\text{bloque}} * 300 \text{ bloques} = \$264.000.-$$

También se me informó que aproximadamente con un saco de cemento y 3 de arena fina se pueden pegar 125 bloques aproximadamente, por lo que estos tendrían un valor de:

$$300 * \frac{\text{Mezcla}}{125} = 2,4$$

Por lo tanto se ocuparían 2.4 sacos de cemento por 7.2 lo que significaría un costo de:

$$\text{Mortero } \$19.360.-$$

Las otras partes del proyecto continúan costando la misma cantidad que con hormigón armado.

- Hidráulica y relleno: \$ 120.000.-
- Fierro: \$ 1.491.750.-
- Grating: \$ 120.000.-

Por lo tanto la inversión total para este proyecto construido con bloques será:

$$\text{Total obra} = \$2.713.110.-$$

CAPÍTULO VII. ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LA PLANTA

Considerando un 50 % de mano de obra se obtiene:

Mano de obra = \$1.350.555. -

Contingencia(20%) = \$813.933. -

Total Proyecto = \$4.883.598.-

Nota: No se considero para estos cálculos la carpeta de HDPE para el interior de la Compostera ni la malla rachel, ya que se cuenta con estos materiales en donde se desarrollaría el proyecto, por lo que no significaría un gasto extra para la superintendencia de medio ambiente (área encargada del proyecto).

CAPÍTULO VIII. CONCLUSIÓN

Al concluir con el balance de energía se puede hacer una comparación entre el calor perdido por las paredes de la planta de tratamiento y los gases, ya que esto determinará si es conveniente o no construir un lecho con las características indicada en el punto 6.4, esta comparación se detalla a continuación:

Energía perdida en los gases:

$$\text{Calor perdido en los gases} = 672254.7039 \text{ kJ}$$

$$\text{Días del proyecto} = 200 \text{ Días}$$

$$\text{Calor perdido por hora} = 140.09 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Energía perdida en las paredes:

$$\text{Calor perdido por la pared} = 1705 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

Cabe señalar que este cálculo fue realizado por un lado del lecho, por lo que este calor debe ser el doble para poder obtener el la energía total perdida por las paredes.

CAPÍTULO VIII. CONCLUSIÓN

$$\text{Calor total perdido} = 3412 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$\text{Conversión} = 1 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} = 1,0550 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$\text{Calor total perdido} = 3599,60 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Con esto se puede decir que el calor que se pierde por las paredes del lecho es mucho mayor que el de los gases, por ende el diseño del espesor de pared ayudaría a mantener las condiciones óptimas para el proceso.

Como se utilizará un proceso de vermicompostaje y se tendrá mejores condiciones para la reproducción de las lombrices, ya que la temperatura en el interior será aproximadamente 7°C, podemos decir lo siguiente:

- Mayor Temperatura → Más reproducción de lombrices.
- Más Lombrices → Mayor Cantidad de Humus.

CAPÍTULO VIII. CONCLUSIÓN

- Más Humus → Más microorganismos.
- Más microorganismos → Mayor Conversión y más rapidez en el proceso.

Con respecto al riego hidráulico, este se realizó pensando en dos cosas principalmente:

- La cantidad de agua es demasiada para ser transportada por el personal a cargo.
- Recuperación del lixiviado del proceso.

El primer punto es básicamente debido a que la manipulación de más de 150 litros por una persona resulta dificultosa y, por otro lado, teniendo un riego tecnificado se humectaría la mezcla de manera más homogénea y con una mayor rapidez.

Se pensó en la recuperación de lixiviado debido a que este posee gran cantidad de nutrientes y microorganismos, los cuales ayudarían a mejorar las condiciones del proceso de compostaje.

Al finalizar el diseño y estimación económica de esta planta de tratamiento de residuos sólidos, se ve claramente que la inversión en la construcción de este proyecto es relativamente baja, a demás cabe señalar que Barrick Zaldívar tiene presupuestado gastar en este proyecto alrededor de \$15.000 dólares

CAPÍTULO VIII. CONCLUSIÓN

estadounidenses, lo que equivale aproximadamente a \$7.500.000 pesos Chilenos, por ende el diseño se encuentra dentro de lo estimado a invertir.

Al consultar cuanto podría costar la operación de esta planta a la empresa contratista Resiter, esta respondió con una estimación de alrededor de \$25.000.000 de pesos Chilenos. Teniendo en cuenta los datos anteriores es que ni obteniendo un 100% de conversión podríamos recuperar la inversión, ya que el precio de esta materia orgánica en el comercio es relativamente bajo, aproximadamente de \$5.000 pesos Chilenos los 50 kg, por lo que este proyecto solamente sería factible para mejorar la imagen medioambiental de la empresa.

Cabe señalar que hacer mejoras en la imagen medioambiental de una empresa no tiene precio, por lo que una inversión en este sentido siempre será beneficiosa, quizás no económicamente pero sí en la manera en que las personas la ven. Además de esto, se estaría dando un valor agregado al proceso de producción de cobre, puesto que se emitirían menos residuos a un proceso externo obteniendo este abono para la vegetación de los jardines apadrinados por CMZ.

CAPÍTULO IX. RECOMENDACIONES

9.1 - Medición de pH

Es muy importante mantener el pH dentro de un rango determinado para la proliferación y vida de las lombrices en la materia orgánica. Como se mencionó en la tabla n°6, el pH adecuado debe estar entre 6.0 y 8.0.

Para controlar el pH se puede utilizar algún agente químico dependiendo de la situación en que se encuentre por ejemplo:

- Si se tiene un pH muy ácido es posible agregar a la materia orgánica Cal para bajarlo a niveles normales.
- Si el pH es muy básico se puede agregar una solución muy diluida de H_2SO_4 o HNO_3 .

La medición de pH se realizará de la siguiente manera:

1. Homogenizar la solución
2. Utilizar para la medición un peachimetro
3. Medir el pH en diferentes partes dentro de la Compostera, para que este sea representativo de la mezcla
4. Ante cualquier pH fuera del rango avisar a la Superintendencia de Medio Ambiente

9.2 - Medición de Temperatura

La temperatura es muy importante en el proceso de compostaje, por lo que se debe tener principal atención en esta variable, ya que si la temperatura desciende de los 7°C no se producirá una proliferación de las lombrices y el proceso tendría un menor porcentaje de conversión de la materia orgánica a Compost.

Como la temperatura más baja se producirá en los bordes y en la superficie en contacto con el medio ambiente, es necesario tomar las mediciones en estas zonas, considerando varios puntos para que la medición sea representativa de la materia orgánica.

Lo que se pretende lograr con este proceso y este diseño es mantener la temperatura de una mejor manera que en una pila, así como se muestra en la figura 9.1.

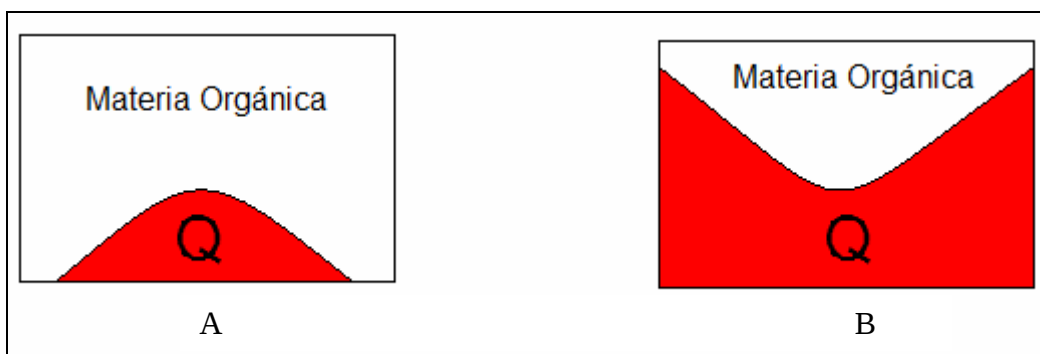


Figura 9.1 Calor aproximado en la pila (A) y en el diseño (B)

9.3 - Medición de Humedad

Esta metodología estará sujeta a la disponibilidad del laboratorio Químico Metalúrgico de la Compañía Minera Zaldívar.

La muestra se tomará cada 15 días, para así no provocar una disminución considerable en la cantidad de producto final obtenido.

Pasos a seguir:

1. Utilizar un recipiente de aproximadamente 0,5Kg para que la muestra sea representativa de la mezcla de materia orgánica en el proceso. El recipiente debe estar libre de agua o de agentes extraños que puedan alterar la humedad en la muestra.
2. Antes de tomar la muestra, homogenizar la mezcla, con lo cual se obtendrá un promedio de la humedad en el Compost.
3. Llevar la muestra tomada del depósito al laboratorio Químico Metalúrgico, en donde ellos determinarán la mejor manera para el proceso de secado.

Posible procedimiento de secado

El procedimiento para secado de la muestra será muy similar a los métodos utilizados para el secado de mineral.

CAPÍTULO IX. RECOMENDACIONES

Pasos a seguir:

1. Pesar la muestra en una bandeja metálica disponible en el laboratorio
2. Dependiendo del estado de la materia orgánica, si se encuentra en etapa de fermentación o no, es que se verá el grado de temperatura a cual se pondrá la muestra. Cabe señalar que si aún está en la fase de fermentación tendrá un olor característico. La temperatura se debe dejar a disposición del personal del laboratorio especializado en el manejo de los hornos de secado.
3. Comprobar el contenido de humedad introduciendo una espátula y verificando que esta no quede con residuos orgánicos adheridos, si es así volver a dejar por más tiempo en el horno.
4. Cuando la muestra esté totalmente seca, pesar y por diferencia de peso calcular el contenido de agua en la muestra.
5. Por último, se utilizará la siguiente fórmula para calcular el porcentaje de humedad en la muestra:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Masa Inicial} - \text{Masa Final}}{\text{Masa Inicial}} * 100$$

Masa Inicial: Masa antes del secado.

Masa Final: Masa después del secado.

CAPÍTULO X. ANEXOS

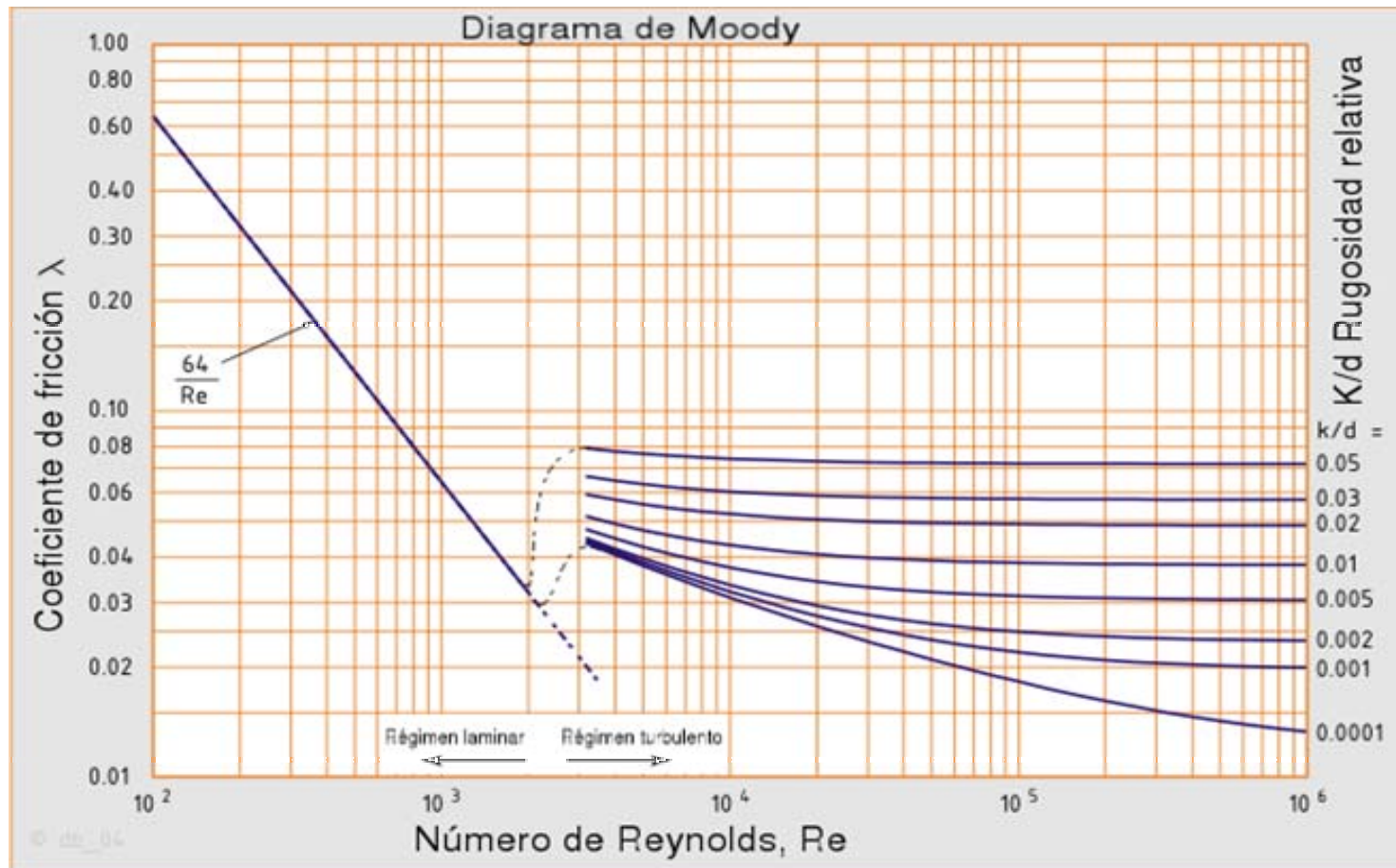


Figura 10.1 Diagrama de Moody

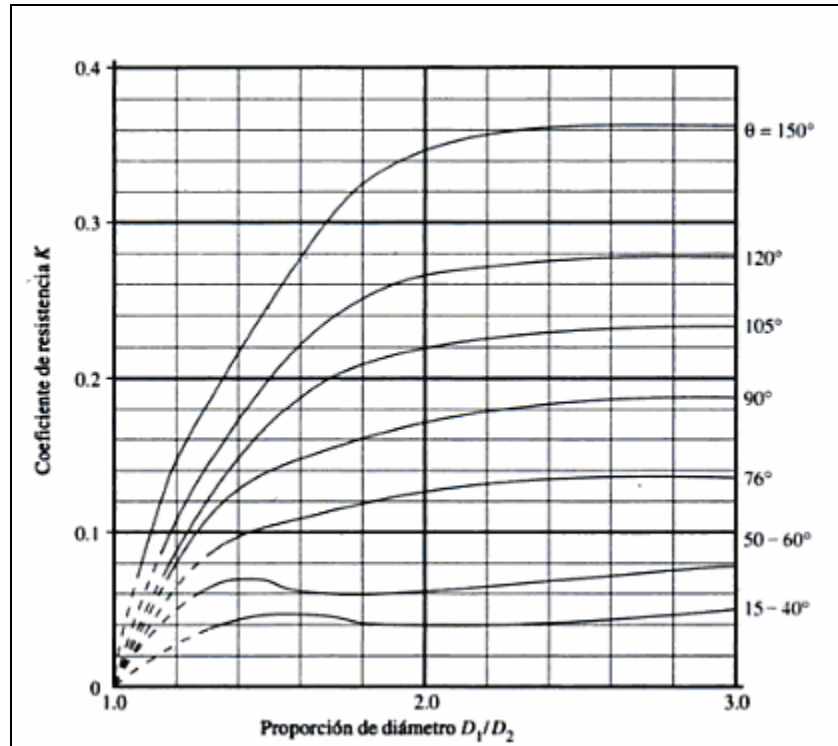


Figura 10.2 Grafico de Coeficiente de resistencia / Contracción gradual

Figura 10.3 Cara Frontal de la bolsa de Compost



Figura 10.4 Cara posterior de la bolsa de compost



Este Compost es un abono natural formado por un proceso llamado Compostaje, el cual consiste en la descomposición controlada de materia orgánica.

Características Físico-Químicas

Materia orgánica	≥ 20
Humedad	30 - 45 %
Conductividad eléctrica	3 dS/m
Densidad aparente	800 kg/m ³
Origen	Materia vegetal de faena
Materia inerte	Según Nch 2880

Este producto fue obtenido por el trabajo conjunto de Barrick Zaldívar, Resiter y Central de Restaurantes.



Especie	PM	Indicar el valor de	x	100
C	12		y	200
H	1		z	100
O	16		w	50
N	14		v	20
S	32			

PM (MO) g/mol	4340
Masa (kg)	10000
Moles totales (kmol)	2,304147465
Moles gases (kmol)	1,783410138

Balance

Borrar

Balance de Ecuación	A	1
Darse los coeficientes A y B	B	51
	C	99,25
	D	3,5
	E	50
	F	20
	G	0,75

$$A C_x H_y O_z N_w S_v + B O_2 \longrightarrow C CO_2 + D H_2O + E NH_3 + F H_2S + G CH_4$$

	1,783	90,954	177,003	6,242	89,171	35,668	1,338
Moles							
Masa	7740,000	2910,525	7788,152	112,355	1515,899	1212,719	21,401

Figura 10.5 Balance de reacción programa Visual Basic

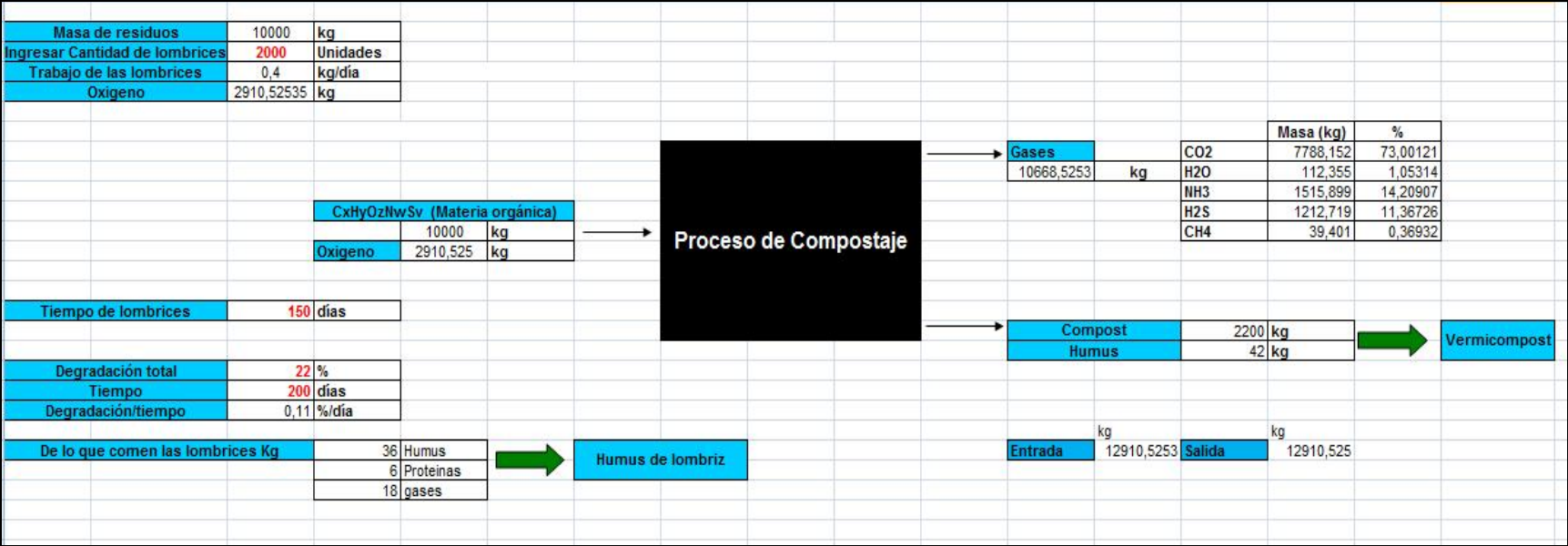


Figura 10.6 Balance de Masa Programa Visual Basic

CAPÍTULO XI. BIBLIOGRAFIA

(1) Información General de Barrick Zaldívar. [Online]. Barrick Sudamérica. [Citado Julio10, 2010]. Disponible en:

http://www.barricksudamerica.com/operaciones/zaldivar_informacion.php

(2) Informe consolidado de la evaluación del estudio de impacto ambiental del proyecto “Modificaciones faena minera Zaldívar”. [Online]. MWH. [Citado julio 20, 2010]. Disponible en: <https://www.e-seia.cl/archivos/20090721.103726.pdf>

(3) Aclaraciones, Rectificaciones o Ampliaciones a la Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto "Proyecto Extensión Lomas Bayas". [Online]. Xstrata Cooper. [Citado Enero 10, 2010]. Disponible en:

<https://www.e-seia.cl/documentos/documento.php?idDocumento=1704584>

(4) Abalos, José; González, Lucía, et al. “Las regiones de Chile Ante la Ciencia, Tecnología e innovación: diagnostico regionales y lineamientos para sus estrategias”. [Online]. Gobierno de Chile CONIYCIT. [Citado julio 20, 2010] Disponible en: http://www.pbct.cl/574/articles-11657_pdf_1.pdf

(5) Gestión de Residuos. [Online]. Estrucplan online. [Citado Agosto 5, 2010]. Disponible en:

<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=1402>

(6) Alarcón, Nelson.”Tecnologías de tratamiento de residuos sólidos”. Universidad Católica del Norte, 2008, p. 16-20

(7) Cuadros, Santos. “Compostaje y biometanización”. EOI escuela de negocios. Contaminación por Residuos, 2007-2008, p. 18-20

CAPÍTULO XI. BIBIOGRAFIA

(8) Norma Chilena Oficial Nch 2880. Of 2004. [Online]. Instituto Nacional de Normalización (INN). [Citado Agosto 10, 2010]. Disponible en:
http://educacion.ucv.cl/prontus_formacion/site/artic/20070723/asocfile/ASOCFILE120070723105921.pdf

(9) Aycachi, Romulo; Alex Chafloque, et al. Lombricultura. Departamento Académico de Microbiología y Parasitología, Lambayeque, 16 de Mayo de 2007, p. 3-5

(10) Larco, Erick. “Preparación de lixiviados de compost y lombricompost”. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica) 2004, No. 73 p.79-82

(11) Bollo, Enzo. “Lombricultura Una Alternativa de Reciclaje”. Soboc Grafic Quito-Ecuador, 2001, No 2.

(12) Manual de Lombricultura. [Online]. Agroflor. [Citado Agosto 25, 2010]. Disponible en:
<http://www.scribd.com/doc/33624639/Lombricultura>

(13) Manual de Compostaje en Casa. [Online].EIDA. [Citado Septiembre 10, 2010]. Disponible en: http://www.rcir.es/pdf/documentos/compostaje_casa.pdf

(14) El compostaje. [Online]. Infoagro. [Citado Septiembre 20, 2010]. Disponible en: <http://www.infoagro.com/abonos/compostaje2.htm>

(15) Moreno, Joaquín; Moral, Raúl. “Compostaje”. Ediciones Mundi-Prensa, 2007.

(16) Compostaje. [Online]. Amigos de la Tierra. [Citado en Septiembre 26, 2010]. Disponible en: http://www.tierra.org/spip/IMG/pdf/AdT_Curso-compostaje2.pdf

(17) Apuntes del Curso de Transferencia de Calor para Ingeniería Civil Química de la PUCV, dictado por el profesor José Torres Titus, 2008

CAPÍTULO XI. BIBIOGRAFIA

- (18) Calculo de pérdidas de carga en tuberías. [Online]. Miliarium. [Citado Octubre 10, 2010]. Disponible en:
<http://www.miliarium.com/prontuario/MedioAmbiente/Aguas/PerdidaCarga.htm>
- (19) Apuntes del Curso de Mecánica de Fluidos para Ingeniería Civil Química de la PUCV, dictado por el profesor José Torres Titus, 2007
- (20) Fases del compost - Microorganismos predominantes. [Online]. Mis Canteros. [Citado Noviembre 28, 2010]. Disponible en:
<http://www.miscanteros.com.ar/compost/fases.htm>
- (21) Winter, G.; Nilson, A. "Proyecto de Estructuras de Hormigón". Editorial Reverté S.A, 1977
- (22) Propiedades del polipropileno. [Online]. Textos científicos. [Citado Noviembre 16, 2010]. Disponible en:
<http://www.textoscientificos.com/polimeros/polietileno/propiedades>
- (23) Residuos sólidos y cosificación. [Online]. Fortunecity. [Citado julio 10, 2011]. Disponible en: <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html>
- (24) Cría de lombrices. [Online]. Guía del emprendedor. [Citado Julio 20, 2011]. Disponible en: <http://www.guiadelemprendedor.com.ar/Cria-Animales.htm>
- (25) Transferencia de calor en la tierra [Online]. Biology Cabinet. [Citado julio 20, 2010]. Disponible en: http://www.biocab.org/Transferencia_Calor.html
- (26) Base de datos de la Compañía Minera de Barrick Zaldívar, Superintendencia de Medio Ambiente, 2010