

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**TRABAJO DE GRADUACIÓN**  
**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN INCINERADOR PARA MATERIALES**  
**ORGÁNICOS DE DESECHO**

PRESENTADO POR:

**REYNALDO JHONATAN ANTILLON HERNANDEZ**  
**GUILLERMO JOSE FUENTES GUEVARA**  
**OSCAR ALFREDO MELGAR AGUILAR**

PARA OPTAR AL GRADO DE:

**INGENIERO MECÁNICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, 9 DE FEBRERO DEL 2023.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.

RECTOR:

**Msc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

SECRETARIA GENERAL:

**Msc. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO:

**PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

SECRETARIO DE LA FACULTAD:

**Ing. JULIO ALBERTO PORTILLO**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

DIRECTOR INTERINO:

**Ing. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de graduación previo para la opción al grado de:  
**INGENIERO MECÁNICO**

Titulo:

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN INCINERADOR PARA MATERIALES  
ORGÁNICOS DE DESECHO**

Presentado por:

**REYNALDO JHONATAN ANTILLON HERNANDEZ  
GUILLERMO JOSE FUENTES GUEVARA  
OSCAR ALFREDO MELGAR AGUILAR**

Trabajo de graduación aprobado por:

Docente asesor

**Ing. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES**

Ciudad Universitaria, 9 de febrero de 2023.

Trabajo de graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**Ing. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES**

## **Agradecimientos**

Agradezco primeramente a Dios quien me ha dado la vida y la oportunidad de cumplir este objetivo, a mis abuelos, mis padres, mis hermanos y a mi esposa por apoyarme en todo momento, a mis compañeros de tesis con quienes hicimos este trabajo y a nuestro asesor por su ayuda.

Reynaldo Jhonatan Antillón Hernández

## **Agradecimientos**

Primero le quisiera dar las gracias a Dios por permitirme culminar mi carrera y que siempre está conmigo y más en este paso que se prolongó más de lo planeado, pero dentro de su plan perfecto así estaba ya contemplado, por darme la fuerza y la confianza de poder llegar hasta este punto. A la Virgencita por siempre acompañarme e interceder por mí a lo largo de mi vida y de mi carrera.

A mi mamá Iris Regina Guevara de Fuentes, quiero agradecerle su paciencia, comprensión y apoyo, por creer siempre en mí, y ahora después de un tiempo esperando poderle decir “mamá ahora también yo soy otro hijo de la Minerva”, este logro se lo dedico con todo mi corazón, ¡Gracias Mamá!

A mi papá Jaime Ramiro Fuentes Herrera, le quiero agradecer sus consejos y sus palabras de apoyo cuando tropezaba y me decía “bueno, hay que volver a intentar, no pasa nada, pero ponete las pilas”, esas palabras me daban esperanza y confianza que con un poco más de esfuerzo lo podía lograr y hoy aquí estamos alcanzando este triunfo, ¡Gracias Papá!

A mis hnos. mayores Karla y Jaime Fuentes, por su ejemplo con sus carreras y ponerme por delante ese desafío que me decía constantemente: “si nosotros pudimos, vos también”, por su apoyo y porque sé que a su forma ellos me demuestran su cariño, respeto y orgullo más con este paso que he alcanzado, gracias por estar siempre allí.

A toda mi demás familia, amigos, compañeros y todo aquel que formo parte de este camino y que se sumó para que yo haya alcanzado este punto.

A mi asesor de Trabajo de Graduación Ingeniero Francisco De León Torres que de cariño le digo “Maestro” por toda su ayuda y conocimiento que me compartió a lo largo de mi carrera. A todos mis docentes que también formaron una parte fundamental en mi carrera y sobre todo agradecer a mi Alma Mater la Universidad de El Salvador, por este prolongado viaje que casi parecía que no me quería ir, ¡jjajaja! Pero llego su momento y gracias por esas experiencias de muchos sabores desde las más amargas y agrias hasta las más dulces y gratificantes.

Por último, pero no menos importante quiero agradecer a mis compañeros de este último viaje que se llamó Trabajo de Graduación, Oscar Melgar y Reynaldo Antillon. Y les deseo muchos éxitos y bendiciones en su vida profesional y personal.

**Guillermo José Fuentes Guevara.**

## **Agradecimientos**

En primera instancia, agradezco a Dios por permitirme culminar este logro académico, superando cada dificultad a lo largo de este proceso, que, con sus bendiciones hasta el día de hoy, me dio la oportunidad de haber nacido y crecido en un núcleo familiar sólido y unido.

A mi madre **Sonia Delmy** por su amor incondicional, por su esfuerzo a lo largo de mi vida, por creer siempre en mí, por sus consejos, por sus regaños, por estar en los buenos y malos momentos, por su constante apoyo en cada una de mis decisiones.

A mis abuelos **Jorge † y Luisa †**, por todo el cariño y apoyo que me brindaron a lo largo de su vida, con sus múltiples consejos, y aunque no están ya aquí para verme, les quiero decir: ¡LO LOGRAMOS!

A mi tía **Patricia Aguilar**, que con su ayuda, cariño y apoyo fue parte fundamental para alcanzar este logro académico. A mis demás tías y tíos, mi más amplio agradecimiento por todo el apoyo incondicional, y aunque algunos estén lejos, siempre estuvieron a mi lado para saber cómo iba mi proceso, no me alcanzarían las palabras para expresar mi aprecio y mi agradecimiento.

A mi hermana **Mónica**, mi sobrina **Ma. Fernanda** y demás familia, porque nunca dejaron que me rindiera y estuvieron apoyándome en cada paso que di.

A todos mis docentes a quienes debo mi formación profesional. Asimismo, agradecer al asesor de tesis **Ing. Francisco Alfredo De León Torres**, por brindar su apoyo y conocimientos durante todo este proceso.

A mis compañeros de tesis, **Guillermo** y **Reynaldo**, porque con esfuerzo y dedicación logramos culminar este trabajo de graduación, también a todas aquellas personas que, de manera directa e indirectamente me brindaron su ayuda para poder culminar mi carrera profesional.

**Oscar Alfredo Melgar Aguilar**

# **PROPUESTA DE DISEÑO DE UN INCINERADOR PARA MATERIALES ORGÁNICOS DE DESECHO**

Estudiantes: Reynaldo Jhonatán Antillón Hernández

Guillermo José Fuentes Guevara

Oscar Alfredo Melgar Aguilar

Docente Asesor: Ing. Francisco Alfredo De León Torres.

Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura,  
Universidad de El Salvador.

## **RESUMEN**

En El Salvador se producen cerca de 3,676 toneladas diarias de residuos, siendo acopiados mayormente en tiraderos a cielo abierto o en rellenos sanitarios, los cuales además de ser insuficientes, son inadecuados, por lo cual se analizan opciones que permitan el adecuado manejo de los residuos sólidos municipales y/o de grandes instituciones. Se diseñó una propuesta de incinerador de desechos con capacidad de 2.2 ton/h Con un volumen de 62.5 metros cúbicos. Para el aire en exceso de 100%. Mediante los resultados obtenidos por balances térmicos y másicos con los cuales se busca obtener el comportamiento general y un comportamiento de los gases de combustión que permitan la operación de acuerdo con normas El diseño del incinerador es de parrilla móvil y se contemplan los diferentes tipos de materiales con los cuales pueden ser construidos y un conjunto de planos donde se encuentran todas sus dimensiones y un estimado general de los costos que este generaría.

**PALABRAS CLAVES:** Diseño de Incinerador, combustión, desechos orgánicos, balances de masas y energía.

## Contenido

Introducción .....	1
1 Problemática de los desechos orgánicos en El Salvador .....	2
1.1 Historia y situación actual de los desechos sólidos en El Salvador .....	2
1.1.1 Definición y clasificación de los desechos sólidos .....	13
1.1.2 Definición de desechos sólidos.....	13
1.1.3 Clasificación de los desechos sólidos.....	14
1.2 Características y propiedades de los desechos sólidos.....	23
1.2.1 Características físicas.....	24
1.2.2 Características químicas.....	27
1.3 Manejo e instituciones responsables del manejo de los desechos sólidos .	31
1.3.1 Manejo de los desechos sólidos .....	31
1.3.2 Instituciones responsables del manejo de los desechos sólidos en El Salvador.....	38
1.4 Marcos legales aplicables a la gestión de los residuos sólidos y normativas medioambientales en El Salvador con respecto a la incineración .....	43
1.4.1 Marcos legales de El Salvador en la gestión de desechos sólidos .....	44
1.4.2 Marcos legales internacionales para gestión y manejo de incineración de desechos orgánicos .....	51
2. Generalidades de un incinerador de desechos orgánicos .....	53
2.1 Historia de los incineradores.....	53
2.1.1 Perspectiva histórica.....	53
2.1.2 Práctica actual de la incineración.....	57
2.1.3 Práctica de la incineración en El Salvador .....	59
2.2 Procesos de un incinerador. ....	61

2.2.1 Almacenamiento y recepción .....	64
2.2.2 Pretratamiento .....	65
2.2.3 Incineración/recuperación de energía.....	65
2.2.4 Depuración de los gases de combustión .....	69
2.3 Partes de un incinerador.....	71
2.3.1 Partes físicas de un incinerador.....	71
2.3.2 Subsistema de un incinerador.....	79
2.4 Tipo de incineradores .....	83
2.4.1 Horno de parrilla, movil, fija, longitudinal, transversal y rodillos .....	86
2.4.2 Horno de lecho fluidizado.....	87
2.4.3 Horno rotatorio.....	90
2.4.4 Inyección líquida .....	91
2.5 Selección de incinerador a diseñar.....	93
3 Propuesta de diseño de un incinerador de parrilla móvil .....	94
3.1 Parámetros de diseño.....	94
3.2 Diseño de sistema de alimentación .....	96
3.2.1 Fosa.....	97
3.2.2 Grúa.....	99
3.2.3 Tolva.....	101
3.3 Diseño de parrilla móvil.....	103
3.4 Diseño de cámara primaria de combustión.....	105
3.4.1 Cantidades y características de los residuos.....	105
3.4.2 Características de alimentación para cámara de combustión.....	106
3.4.3 Balance de masas de la cámara de combustión.....	111

3.4.4 Balance térmico (energía) de la cámara de combustión .....	115
3.4.5 Dimensionamiento de la cámara de combustión .....	119
3.5 Diseño de la cámara de postcombustión .....	120
3.5.1 Balance de masa y energía de la postcombustión.....	120
3.5.2 Cálculos de la postcombustión .....	124
3.6 Diseño de tratamiento de gases .....	125
3.6.1. Intercambiador de calor .....	125
3.6.2 Separador ciclónico .....	128
3.6.3 Colector de gases .....	130
3.6.4 Filtro de mangas .....	131
3.7 Cuarto de control .....	135
3.8 Chimenea.....	138
3.9 Tuberías de acarreo.....	139
4. Desarrollo de un incinerador de parrilla móvil .....	140
4.1 Selección de componentes .....	140
4.1.1 Grúa.....	140
4.1.2 Tolva .....	140
4.1.3 Banda transportadora .....	140
4.1.4 Quemadores .....	141
4.1.5 Intercambiadores de calor.....	143
4.1.6 Separador ciclónico y filtro de mangas .....	143
4.1.7 Panel de control.....	144
4.1.8 Chimenea.....	149
4.2 Descripción de componentes.....	149

4.2.1 Grúa.....	150
4.2.2 Tolva.....	151
4.2.3 Banda transportadora .....	151
4.2.4 Quemador de cámara primaria .....	151
4.2.5 Quemador de cámara de postcombustión .....	152
4.2.6 Separador ciclónico .....	153
4.2.7 Colector de gases .....	154
4.2.8 Filtro de mangas .....	154
4.2.9 Chimenea.....	154
4.3 Criterios para ubicación de un incinerador.....	154
4.3.1 Requerimiento de ubicación de un incinerador de parrilla móvil.....	155
4.3.2 Estudio del sitio.....	155
5. Costos del proyecto .....	156
5.1 Costos totales.....	156
5.2 Costos de fabricación .....	157
5.3 Costos de instalación.....	161
5.3.1 Zona de alimentación.....	161
5.3.2 Cámara de combustión.....	161
5.3.3 Cámara de postcombustión .....	162
5.3.4 Sistema de tratamientos de gases.....	162
5.3.5 Chimenea.....	163
5.3.6 Otros .....	163
5.4 Costos de operación y mantenimiento.....	166
Conclusiones .....	168

Recomendaciones .....	170
Bibliografía.....	171
Anexos.....	174

## Índice de Figuras

Figura 1.1. El Salvador: hogares por tipo de tratamiento de basura no reciclada, según área geográfica (porcentaje). .....	12
Figura 1.2. Diagrama simplificado que muestra las interrelaciones de los elementos funcionales en un sistema de manejo de desechos sólidos. ....	33
Figura 1.3. Línea de tiempo en función de la gestión de Desechos Sólidos .....	44
Figura 2.1. Esquema de flujo simplificado de una incineradora. ....	64
Figura 2.2. Partes de un incinerador .....	71
Figura 2.3. Esquema general de una planta incineradora. ....	83
Figura 2.4. Horno de parrilla .....	87
Figura 2.5. Lechos fluidizados burbujeantes a la izquierda y Lechos fluidizados burbujeantes a la derecha. ....	89
Figura 2.6. Horno rotatorio. ....	91
Figura 2.7. Horno incinerador por inyección líquida. ....	92
Figura 3.1. Esquema general de incineración de basura. ....	94
Figura 3.2. Grúa trasladando material desde la fosa hacia la tolva 7 banda de transporte. ....	96
Figura 3.3. Grúa depositando desechos en las bandas de alimentación. ....	96
Figura 3.4. Desarrollo y clausura de un vertedero de residuo sólidos: (a) excavación e implantación del recubrimiento del vertedero, (b) vertido de residuos sólidos en el vertedero, y (c) sección del vertedero clausurado. ....	99
Figura 3.5. Gancho hidráulico de 5 garras. ....	100
Figura 3.6. Tolva receptora de residuos. ....	101
Figura 3.7. Dimensiones de la tolva. (Cotas en milímetros). ....	102
Figura 3.8. Banda transportadora, material acero inoxidable refractario AISI 314. ....	104

Figura 3.9. Intercambiador de calor de coraza y tubos.....	127
Figura 3.10. Separador ciclónico. ....	129
Figura 3.11. Cotas del separador ciclónico.....	130
Figura 3.12a. Filtro de mangas. ....	133
Figura 3.12b. Filtro de mangas. ....	134
Figura 3.12c. Filtro de mangas. ....	134
Figura 3.13. Componentes eléctricos y electrónicos.....	136
Figura 3.14. Ejemplo de gabinete para cuarto de control, exterior, a) e interior, b).....	136
Figura 4.1. Controlador S87D Honeywell para gas propano.....	142
Figura 4.2. Circuito de protecciones. ....	144
Figura 4.3. Alimentación de circuito de control y fuerza.....	145
Figura 4.4. Circuito de alimentación de quemadores.....	145
Figura 4.5. Repartidores de voltaje. ....	146
Figura 4.6. Circuito de control.....	146
Figura 4.7. Circuito de presostato. ....	147
Figura 4.8. Circuito de control de temperatura.....	148
Figura 4.9. Circuito de quemador de gas.....	148
Figura 4.10. Circuito de controlador Logo.....	149
Figura 4.11. Grúa.....	150
Figura 4.12. Quemador de cámara primaria .....	151
Figura 4.13. Quemador N-BFN140-280 para el postquemador .....	152

## Índice de Tablas

Tabla 1.1. Composición física típica de los residuos sólidos urbanos domésticos. ....	25
Tabla 1.2. Datos típicos del contenido de humedad de los componentes de los desechos sólidos municipales.....	27
Tabla 1.3. Análisis inmediato típico para desechos sólidos municipales. ....	28
Tabla 1.4. Datos típicos sobre el análisis final de componentes combustibles en desechos sólidos municipales.....	29
Tabla 1.5. Datos típicos sobre residuos inerte y contenido de energía de desechos sólidos municipales.....	30
Tabla 2.1. Plan Nacional de Recuperación de Desechos Sólidos (2011) (MARN, Ministerio de Medio Ambiente y Recurso Naturales, 2012). ....	60
Tabla 2.2. Poder calorífico de residuos sólidos urbanos comunes, R.S.U.....	68
Tabla 3.1. Dimensiones de Ganchos hidráulicos. ....	100
Tabla 3.2. Parámetros de banda transportadora. ....	103
Tabla 3.3. Distribución en peso (Base húmeda) de los desechos orgánicos..	105
Tabla 3.4. Análisis elemental de los desechos. ....	106
Tabla 3.5. Contenido energético de los residuos. ....	107
Tabla 3.6. Contenido de humedad sobre los desechos. ....	108
Tabla 3.7. Contenido de humedad sobre los desechos. ....	109
Tabla 3.8. Estequiometria de productos y reactantes. ....	110
Tabla 3.9. resumen del balance de masas para cámara de combustión. ....	112
Tabla 3.10. Balance térmico de la cámara de combustión. ....	116
Tabla 3.11. Dimensionamiento de cámara de combustión ....	120
Tabla 3.12. Balance de masa y energía ....	121
Tabla 3.13. Dimensionamiento de la cámara de postcombustión.....	125

Tabla 3.14. Parámetros y características del intercambiador de calor.....	126
Tabla 3.16. Parámetros de dimensionamiento de separador ciclónico.....	129
Tabla 3.17. Parámetros de dimensionamiento de colector de gases.....	131
Tabla 3.18. Parámetros técnicos módulo de filtrado .....	132
Tabla 3.19. Características físicas filtro de manga .....	132
Tabla 3.20a. Dimensiones filtro de manga.....	133
Tabla 3.20b. Dimensiones filtro de mangas.....	134
Tabla 3.21. Componentes exteriores de gabinete .....	136
Tabla 3.22. Componentes interiores de gabinete .....	137
Tabla 3.23. Parámetros de diseño de la chimenea.....	138
Tabla 4.3. Consumo de quemador de combustible.....	152
Tabla 4.4 Información general de consumo de combustible quemador.....	153
Tabla 5.1. costos totales de fabricación, instalación y O&M.....	156
Tabla 5.2. costos de fabricación parte I. ....	157
Tabla 5.3. costos de fabricación parte II .....	158
Tabla 5.4. costos de fabricación parte III. ....	159
Tabla 5.5. costos de fabricación parte IV.....	160
Tabla 5.8. costos de operación y mantenimiento parte I.....	166
Tabla 5.9. costos de operación y mantenimiento parte II.....	167

## **Introducción**

La producción de residuos sólidos per cápita incrementa año con año, actualmente en El Salvador se produce alrededor de 3,676 toneladas de residuos sólidos por día, cuya disposición final mayoritariamente son en vertederos a cielo abierto o en rellenos sanitarios los cuales son insuficiente para la disposición final de los mismos y que no soluciona el problema, lo que nos lleva a enfrentar problemas como lo son: las emisiones de gas metano (CH<sub>4</sub>), producido a partir de la descomposición de la basura orgánica.

Globalmente se analizan opciones que permitan el adecuado manejo de los residuos sólidos. Una de las opciones más viables es la separación para reciclaje de estos residuos y para la parte que no puede ser reutilizada se prefieren métodos de reducción térmica (incineración).

Considerando que la incineración es una tecnología que puede formar parte de las tecnologías que configuran la gestión integral de residuos y no como una tecnología alternativa y excluyente. Al cumplir con la jerarquía de procedimientos de actuación en la gestión de residuos que ha establecido la Unión Europea (Unión Europea, 2017), la incineración puede aplicarse a todo o a parte de la fracción de rechazo procedente del reciclado y a aquellos residuos que necesitan reducir su peligrosidad antes de efectuar su vertido.

# **1 PROBLEMÁTICA DE LOS DESECHOS ORGÁNICOS EN EL SALVADOR**

El Salvador no está exento de la producción de desechos orgánicos y a lo largo del tiempo y el aumento de la población esta se ha convertido en una problemática por lo cual en el siguiente capítulo se investiga y conoce un poco del trayecto de este suceso y las medidas que se han ido tomando hasta la actualidad en el país.

## **1.1 HISTORIA Y SITUACIÓN ACTUAL DE LOS DESECHOS SÓLIDOS EN EL SALVADOR**

La generación de residuos sólidos es una problemática inherente a la actividad del ser humano, las formas en cómo se organizaron las sociedades pasadas caracterizo el tipo y cantidad de residuos que producían. Después de la revolución industrial a finales del siglo XVIII, nuevas formas de consumo aparecieron y con ello nuevas formas de residuos en altas cantidades.

En El salvador la problemática de los desechos sólidos se ha convertido en un factor muy importante por las violaciones medio ambientales que estas han originado de los cuales son: El uso no sostenible de los recursos naturales, seguido de la contaminación atmosférica, contaminación de suelo y contaminación del agua, ocasionada por los desechos sólidos.

San Salvador sigue siendo el departamento más afectado, seguido de La Libertad y San Vicente. En términos generales se puede decir que la situación del derecho humano a un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado no han mejorado con relación a los años anteriores; la calidad del aire en el área metropolitana es alarmante especialmente en la zona comprendida entre el

Hospital de Maternidad y la ciudad de Soyapango, donde el índice de los desechos sólidos es abundante.

En El Salvador, la contaminación producida por los desechos sólidos es un problema que hasta hace poco ha comenzado a recibir la atención que amerita; sin embargo, ha tomado alarmantes dimensiones especialmente por haberse hecho uso inadecuado de los sistemas tanto de manejo, traslado, lanzamiento a ríos, enterramiento, quema no controlada y botaderos de desechos en quebradas y/o barrancos distantes a las urbes; lugares que debido al reducido territorio nacional y a los elevados índices poblacionales, son cada día más escasos.

En la década de 1950 y 1960, en la ciudad de Santa Ana, ubicada en el occidente del país, hace una aparición un primer esfuerzo de disposición final de desechos sólidos, al instalarse una planta de Procesamiento de Desechos Orgánico para la producción de abono, esfuerzo que posteriormente se vio truncado al entrar en competencia con fertilizantes y abonos químicos, debiendo cerrarse la planta procesadora.

A partir de los años 1960 a 1980, las autoridades municipales, con el fin de aliviar un poco la creciente generación de desechos sólidos de la zona metropolitana de San Salvador, comienzan a depositar estos desechos en rellenos sanitarios, los que, sin embargo, en la práctica son cárcavas naturales o grandes zanjas producidas casi siempre por cauces de aguas lluvias.

Uno de los principales rellenos sanitarios es el instalado en el municipio de Soyapango, aproximadamente a 6 km de San Salvador, el cual debido a su uso

irracional fue clausurado definitivamente en 1983, siendo trasladado a Santa Tecla, La Libertad.

Para el año de 1971 la ciudad de San Salvador contaba con un aproximado de 367,131 habitantes. La zona oriental de la ciudad era la más poblada con intensidad que en determinados sectores alcanzaba hasta 250 habitantes por hectárea; por el contrario, la zona poniente de la ciudad era la de menor intensidad poblacional, con un promedio de 25 habitantes por hectárea (lugar donde comenzaron a ubicarse las zonas residenciales) para esa época, el núcleo central de la ciudad se estaba extendiendo en forma verdaderamente desordenada, así como en la zona habitacional y algunas zonas industriales que se concentraban especialmente a lo largo del Boulevard Venezuela y en el Boulevard del Ejercito.

En el año de 1971, nueve municipios integraban el gran San Salvador, estos eran: Santa Tecla, Antiguo Cuscatlán, San Marcos, Soyapango, Ciudad Delgado, Mejicanos, Ayutuxtepeque, y Cuscatancingo. Por su parte los municipios de Santo Tomas, San Martin, Apopa, Nejapa, Quezaltepeque y Tonacatepeque no habían sido integrados geográficamente a la ciudad, pero por su cercanía y actividad económica y social también causaron, desde aquellos años impacto en los problemas de San Salvador.

A principios de los años setenta, según el presupuesto de la municipalidad de San Salvador, el servicio de saneamiento ambiental estaba bajo la responsabilidad del Departamento de Saneamiento Ambiental Municipal, dividido en tres sectores: Sección de Limpieza, Sección de Saneamiento y Control de

Vectores y Sección de Recolección de Basura.

Para el año 1971 diariamente se recolectaba un promedio de 180 toneladas de basura, cuya composición era la siguiente: un 72.13% era material orgánico y un 27.87% era material inorgánico. Así mismo para esa misma fecha la municipalidad de San Salvador había instalado dos centros de disposición final de la basura en trabajos de rellenos sanitarios.

El relleno sanitario número uno estaba ubicado en la finca Las Margaritas jurisdicción de Soyapango entre el Km. 2 y el Km 3 del Boulevard del Ejército, donde el municipio desde el final del año 1969 había venido depositando un promedio de entre 120 a 150 toneladas diarias de desechos sólidos, sin contar la depositada por otros municipios, fábricas y oficinas de gobierno. El relleno sanitario numero dos estaba ubicado en el predio de zona verde del Jardín Botánico de la Colonia Escalón donde se habían depositado desde finales de 1969 hasta principios de 1971, un promedio de 90 a 110 toneladas diarias de basura.

Es de considerar, además, que el volumen manejado en ambos rellenos sanitarios incluía no solo los desechos de la ciudad de San Salvador, sino que también de los centros urbanos que estaban servidos por el Instituto de Vivienda Urbana (IVU) y las ciudades de Mejicanos, Ciudad Delgado y parcialmente las de Soyapango, Ilopango y esporádicamente de la ciudad de San Marcos.

Sin embargo, en ese sentido de ideas, no en todos los municipios se lleva a cabo la recolección de basura como ha sido mencionada, sino que en la

recolección de desechos también se utilizaban carretas las cuales eran haladas por bueyes que pasaban recolectando cada tres días y solamente en los municipios más importantes, los cuales eran aquellos que conformaban el AMSS; posteriormente se optaba por una de las siguientes alternativas: incineración, enterramiento o eran depositados en botaderos al aire libre. Además, en esos momentos no existía en el país un tratamiento tecnológico para la basura y por lo tanto tampoco existía procesamiento de lixiviados los cuales fluyen de los desechos y que también contaminan el ambiente.

Algunas de estas técnicas relativas al manejo de los desechos han sido heredadas de nuestros antepasados los cuales enterraban los desechos en trincheras, lo que ayudaba a mejorar las condiciones del suelo, ya que producían abono orgánico o humus los cuales ayudaban a que los cultivos fueran provechosos y que a la vez fue el principio del compostaje.

Posteriormente fue utilizado erróneamente en los subsiguientes periodos históricos en nuestro país, y eso se debió básicamente a la incorporación y mezcla no solo de desechos orgánicos sino también inorgánicos, lo que produciría lógicamente otro tipo de efecto en el Medio Ambiente.

Para 1978 se comenzaron a buscar soluciones al problema de los desechos sólidos ya que se detectó que generaba un impacto negativo en el medio ambiente, para ello con la cooperación de la Organización de la Salud y la Organización Mundial de la Salud (que en adelante se denominaran OPS y OMS respectivamente), se analizaron siete alternativas las cuales incluían la incineración, relleno sanitario, compostaje, pirolisis, producción de gas metano

y utilización de los residuos como combustible sólido. El relleno sanitario fue propuesto como alternativa de menor costo, sin embargo, ella no se implementó.

En 1979 la OPS/OMS, realizó un estudio sobre el problema de la basura en el país el cual se denominó: “Plan Nacional de Desechos Sólidos en la Republica de El Salvador”, y que planteo estrategias, consideraciones económicas y limitaciones para los servicios de aseo urbano, pero este no se desarrolló.

Cabe mencionar que según el “Análisis Técnico sobre Desechos Sólidos de la ciudad de San Salvador y Municipios aledaños” elaborado en 1989 por la gerencia de Saneamiento Ambiental de la alcaldía de San Salvador, determino que existió en 1980 para el AMSS (los municipios que la conformaban eran solamente doce: San Salvador, Santa Tecla, Antiguo Cuscatlán, San Marcos, Ilopango, Soyapango, Ciudad Delgado, Cuscatancingo, Mejicanos, Ayutuxtepeque, Apopa y Nejapa) una población de 729,459 habitantes, con una producción total al año de 436,971 toneladas de desechos sólidos; y para 1981 había: 766,900 habitantes con una producción total al año de 460,138 toneladas de desechos y en 1982 habían 806,263 habitantes con una producción total al año de 483,780 toneladas de desechos sólidos.

También en 1982, con la cooperación de la OPS/OMS, a través de una revisión del plan de 1979 se determinó la capacidad institucional de los servicios de aseo y las necesidades de capacitación de los recursos humanos al sector. Se formuló un plan de acción con nueve prioridades para desarrollar en el periodo 1982-1983 y con la meta de obtener para 1990 una ampliación de la cobertura de los servicios de recolección, transporte y disposición final

adecuados en las principales ciudades del país con más de 15,000 habitantes.

En 1983 y como implementación parcial del plan de 1982 se desarrolló una serie de actividades de adiestramiento del personal técnico del sector y se consideraron alternativas de solución relacionadas con una población de 847,646 habitantes y con una producción total del año de 508,571 toneladas de desechos sólidos para el AMSS.

Para 1987 ese mismo plan tampoco se pudo implementar por falta de recursos financieros. Existiendo para esta época en el AMSS, 1,035,537 habitantes y una producción total al año de 621,320 toneladas de desechos sólidos.

En 1989 se diagnosticó nuevamente la situación institucional de los sistemas de aseo en las localidades incluidas en el plan maestro, incluyéndose el municipio de Santo Tomas y estimándose un costo de inversión de \$3,163,000 para cubrir la demanda insatisfecha. La población estimada para ese año fue de 1,144,565 habitantes y una producción total al año de 686,806 toneladas métricas de desecho sólidos en el AMSS.

Para 1991 quedo sin funcionamiento el relleno sanitario de Soyapango despuésde haberse utilizado por la alcaldía de San Salvador durante veinte años, y por el cierre de este, se ubicó otro relleno sanitario en San Luis Mariona, el cual fue compartido por los municipios aledaños, entre estos, el de Mejicanos.

Este relleno poseía una serie de deficiencia las cuales generaron un impacto negativo en el ambiente, ya que este relleno no fue impermeabilizado, lo que significó la contaminación del agua en el AMSS, debido a la filtración de

lixiviados a las aguas subterráneas. Por otro lado, era un botadero al aire libre lo que permitió que se creara un ambiente propicio para la proliferación de roedores e insectos transmisores de enfermedades.

Por otro lado, el relleno sanitario instalado en 1991 en el municipio de Apopa, fue diseñado para durar aproximadamente 15 años, en un área de 36 manzanas de terreno y cuya vida útil finalizó en 1996 aproximadamente, esto en atención a la falta de sistemas alternativos de disposición final de desechos sólidos, como es el caso del compostaje, o sea la producción de abono cuya materia prima la constituyen los desechos orgánicos, o bien, el reciclaje; es decir, el rehusó de materiales no orgánicos como papel, vidrio o plástico. En el AMSS existía una población de 1,265,072 habitantes y una producción total de 758,736 toneladas de desechos sólidos.

Posteriormente en 1993 se propuso un programa de manejo integral de residuos sólidos en 79 municipios de la república y la necesidad de una estación de transferencia para el AMSS, para la cual se establecieron en \$24,559,543 dólares americanos, las necesidades financieras para la compra de terrenos para rellenos sanitarios, la estación de transferencia para el AMSS y equipo de recolección y disposición final. Desgraciadamente este programa no se pudo implementar por falta de financiamiento. Por otro lado, en ese mismo año, el relleno sanitario que había sido trasladado a Santa Tecla en el año de 1983 fue cerrado a consecuencia de la muerte de 25 personas, quienes fueron sepultados por toneladas de desechos sólidos, cuando por falta de permeabilidad adecuada del suelo, este a causa de torrenciales lluvias aflojó y produjo la tragedia.

Particularmente en 1994 la Secretaria Ejecutiva del Medio Ambiente (que en adelante se denominara SEMA) estableció directrices para formular un plan nacional de Aseo Urbano, incluyendo el fortalecimiento legal, desarrollo institucional, de recursos humanos, financiamiento y políticas de crédito. Sin embargo, este plan no se elaboró. Para este año había en el AMSS 1,398,254 habitantes y una producción total de 882,007 toneladas de desechos sólidos.

Para julio de 1996, a juicio de las autoridades municipales y organizaciones no gubernamentales de tipo ambientalista como la Unidad Ecológica Salvadoreña (UNES) y el Centro Salvadoreño de Tecnología Apropriada (CESTA) los volúmenes de los desechos sólidos podrían reducirse sustancialmente si la población clasificara desde sus hogares desechos como vidrio, plástico, metal, y papel (que son reciclables); ya que considerando que un 40% de los desechos que llegaban al relleno corresponden a esta categoría y el 60% restante es eminentemente orgánico y por lo tanto, biodegradable.

Así también durante ese mismo año y el año de 1997 el gobierno central a través de la Oficina de Planificación de El Salvador elaboro planes metropolitanos para la ciudad de Santa Ana, Sonsonate, San Miguel, Usulután y el AMSS.

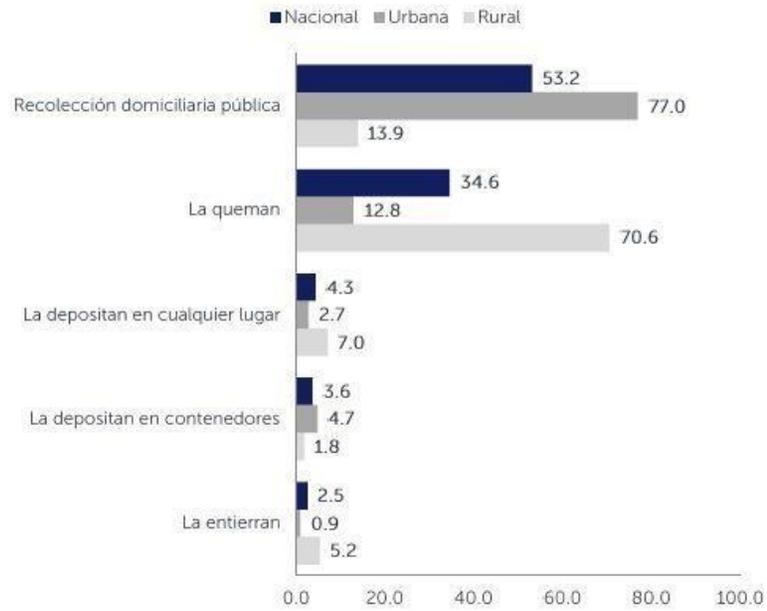
Fue en 1998 que colapso el vertedero de Nejapa debido a las grandes cantidades de desechos sólidos que ingresaban de los 22 municipios aledaños y la empresa privada.

En El Salvador, la prioridad para la gestión de residuos sólidos se ha concentrado en las áreas urbanas, dada a la alta densidad poblacional y la consiguiente concentración de generación de desechos y riesgo que ello conlleva

para la salud humana y el medio ambiente. Los datos de la Encuesta de Hogares de Propósitos Múltiples (EHPM 2020), a escala nacional identifica 1,871,468 hogares, de los cuales 1,192,126 son considerados urbanos y 679,342 rurales, con porcentajes de 63.7% urbano y 36.3% rural.

Según la misma encuesta a escala nacional el 53.2% de los hogares entrega los desechos a la recolección pública, un 3.6% deposita en contenedores lo que se concluye que en el país el 56.8% dispone los desechos adecuadamente; el 43.2% de hogares restantes dispone sus desechos de la siguiente forma: 34.6% los quema, 4.3% tira en cualquier lugar, 2.5% los entierra y 1.8% no expresan lo que hacen.

Así mismo la EHPM 2020, segregando para las áreas urbanas, presentan los siguientes resultados: 77.00% de los hogares reportan usar el servicio de recolección municipal, el 4.70% lo depositan en contenedores también servidos por la municipalidad, lo que hace un total de 81.70% que reciben el servicio de recolección; el 12.80% lo quema y el 2.70% lo deposita en cualquier lugar. En las áreas rurales el 13.90% reporta entregarlo al servicio municipal de recolección, el 70.60% lo quema y el 7.00% lo deposita en cualquier lugar como lo describe la figura 1.1.



Fuente: Encuesta de Hogares de Propósitos Múltiples-2020

Figura 1.1. El Salvador: hogares por tipo de tratamiento de basura no reciclada, según área geográfica (porcentaje).

La quema de desechos no controlada es una práctica que representa riesgos para la salud y el medio ambiente, principalmente por estar asociada a la liberación de dioxinas y furanos, que son sustancias altamente tóxicas que se generan en la combustión a bajas temperaturas de desechos que contienen elementos clorados. Las dioxinas y furanos se encuentran identificadas en el convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes, con prioridades cancerígenas y capacidad de causar diferentes daños a la salud.

Utilizando la base de datos de los informes anuales de la operación de los rellenos sanitarios mecanizados, se estima que para el año 2016, las áreas urbanas generaron aproximadamente 3,676 toneladas por día de residuos sólidos no peligrosos y se recolectaron en promedio 3,198.13 toneladas (87%) de las cuales 3,014.33 toneladas (82%) se entregaron y procesaron en los rellenos

sanitarios; 110.3 toneladas por día se composta (3%) y 73.52 toneladas por día se entregaron a empresas de recuperación de reciclaje (2%), conformando así el 87%, finalmente, 367.6 toneladas por día son quemadas o tiradas en quebradas, barrancas, carreteras que corresponde al faltante de la generación nacional.

### **1.1.1 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS**

Los desechos son considerados una heterogénea gama de objetos que se generan como resultado de las múltiples actividades humanas. Por sus cualidades físicas pueden ser materiales inertes (metales, vidrio, tierra y otros), materiales fermentables (restos orgánicos) y materiales combustibles (papel, cartón, plásticos, madera, goma, etc.).

Los residuos de los establecimientos de salud u hospitalarios se caracterizan por estar contaminados con agentes infecciosos o que pueden contener altas concentraciones de microorganismos que son de potencial peligro para la comunidad.

Un mal manejo de desechos puede facilitar la transición de enfermedades intrahospitalarias, causando un aumento en el número de días de hospitalización, en los costos de tratamiento y la mortalidad.

### **1.1.2 DEFINICIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS**

Los desechos sólidos son todos los desechos que proceden de actividades humanas y de animales que son normalmente sólidos o semisólidos y que se desechan como inútiles o indeseados. El término, como se usa en este texto, incluye todo, y abarca las masas heterogéneas de desechos de comunidades urbanas lo mismo que acumulaciones más homogéneas de desechos agrícolas,

industriales y minerales. En un ambiente urbano, la acumulación de desechos sólidos es una consecuencia directa de la vida.

### **1.1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS**

El termino desechos sólidos es inclusivo y comprende todas las fuentes, tipos de clasificaciones, composiciones y propiedades. Los desechos que son descargados pueden tener valor importante en otro marco de referencia. Pero ellos tienen poco o ningún valor para el poseedor, quien desea deshacerse de ellos.

La clasificación de los residuos se hace sobre la base de diferentes criterios, tales como del sector que son producidos, posibles tratamientos, composición física, química, entre otros. En este apartado veremos los diferentes tipos de los cuales son los más usados.

Debido a las diferentes actividades que el ser humano realiza, es muy difícil hacer una clasificación de los desechos sólidos; pero doctrinariamente, los desechos se clasifican de varias formas, dependiendo de su composición, de su lugar de origen y por la peligrosidad que representan; así mismo los desechos, englobando a la totalidad de los que en el país se producen, se clasifican en orgánicos e inorgánicos; es decir, que la gran clasificación de los desechos es la que depende de su composición.

Por lo cual su clasificación más común y su definición son las siguientes:

### **1. Clasificación por su peligrosidad.**

De acuerdo con la Secretaria Ejecutiva del Medio Ambiente (SEMA), 1994, (cuyas funciones ahora son asumidas por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, desde el año de 1997, incluyendo lo relativo a los desechos sólidos), los desechos se clasifican en:

#### ➤ **Desechos no peligrosos.**

Son los residuos que se generan diariamente en algunas actividades comunes en un hospital, clínica, en nuestra casa y en oficinas. En general estos residuos no presentan ningún tipo de riesgo para la salud humana y el medio ambiente si se manejan adecuadamente. Son residuos que pueden ser en una gran mayoría reciclable o reutilizable.

Dentro de esta categoría están:

- Ordinarios o comunes: son los generados en el desempeño normal de actividades. En general estos residuos se generan en todos los sitios del hospital como oficinas, pasillos, áreas comunes y cafeterías.

Ejemplo: papeles, bolsas, botellas y material típico generado en oficinas y que no están contaminados por ningún tipo de fluido corporal. Estos residuos pueden ser entregados al sistema de recolección de basura del municipio sin ningún tipo de tratamiento y pueden ser reciclados para un uso posterior.

- Inertes: son residuos que por su naturaleza no permiten una fácil descomposición, su transformación en materia prima y su degradación natural requiere de grandes periodos de tiempo. Algunos, tipo de papel,

plásticos, latas, etc.

- **Biodegradables:** son residuos químicos o naturales que se desintegran en el ambiente, sin alterarlo, ni producir riesgo alguno para la salud. En estos se encuentran residuos vegetales, residuos alimenticios de cocina y cafetería, papeles que no son aptos para reciclaje, algunos jabones, detergentes y otros residuos que se puedan transformar fácilmente en materia orgánica y pueden ser entregados al servicio de recolección de basura del municipio.
- **Reciclables:** Son residuos que pueden volver a ser utilizados como materia prima en procesos productivos. Entre estos se encuentran el papel, vidrio, cartón, plástico, la chatarra, las telas y madera.

➤ **Desechos peligrosos.**

Son los residuos generados en la institución u hospital que deben tener un tratamiento especial por el riesgo de contaminación, ante la posibilidad de haber estado en contacto con agentes patógenos y cuentan con algunas de las siguientes características: infecciosas, combustibles, inflamables, explosivas, reactivas, radiactivas, volátiles, corrosivas y tóxicas, que pueden causar daño a la salud humana y al medio ambiente.

Los residuos infecciosos o de riesgo biológico son aquellos que contienen gérmenes patológicos y por tanto son peligrosos para la salud humana. Constituyen del 10 al 15% de los desechos. Los residuos infecciosos o de riesgo biológico se clasifican en:

- **Biosanitarios:** son todos aquellos elementos o instrumentos utilizados

durante la ejecución de los procedimientos asistenciales que tienen contacto con materia orgánica, sangre o fluidos corporales del paciente, tales como; gasas, apósitos, algodones, escobillas, vendajes, material de laboratorio o cualquier otro elemento desechable que la tecnología médica introduzca para estos fines.

- Anatomopatológicos: Son aquellos residuos que se generan en procedimientos de cirugía y laboratorio. Dentro de estos tenemos las biopsias, placentas, tejidos, órganos amputados, partes y fluidos corporales que se remueven durante cirugías u otros, incluyendo muestras para análisis autopsias u otro procedimiento médico.
- Corto punzante: Son todos los residuos cortantes o punzantes utilizados en la actividad de la salud. Se trata especialmente de agujas, bisturís, lancetas, mangueras, puntas de equipos de venoclisis, catéteres con aguja de sutura, pipetas y otros objetos de vidrio, que han estado en contacto con agentes infecciosos. Estos residuos dada la facilidad para crear una puerta de entrada de los gérmenes patógenos en el organismo humano constituyen fundamentalmente 1% de todos los desechos.
- Desechos de laboratorio: Cultivos de agentes infecciosos y desechos biológicos. Vacunas vencidas o inutilizadas, cajas de Petri, placas de frotis y todos los instrumentos usados para manipular, mezclas o inocular microorganismos.
- Desechos de sangre: Sangre de pacientes, sueros, plasma u otros componentes; insumos usados para administrar sangre, para tomar

muestras de laboratorio y paquetes de sangre que no han sido utilizados.

- Residuos de aislamiento: Residuos biológicos, excreciones, exudados o materiales de desechos provenientes de las salas de aislamiento de pacientes con enfermedades altamente transmisibles. Se incluyen también a los animales aislados.
- Desechos de investigación: Cadáveres o partes de animales contaminadas, o que han estado expuestos a agentes infecciosos en laboratorios de experimentación, industrias de productos biológicos y farmacéuticos y en clínicas veterinarias.

## **2. Clasificación según su origen**

### ➤ Domésticos.

Son los generados por cualquier actividad en los núcleos de población o en sus zonas de influencia. Consiste en residuos orgánicos e inorgánicos de zonas residenciales. Típicamente la fracción orgánica de los residuos domésticos está formada por materiales como residuos de comida, papel de todo tipo, cartón, plásticos de todos los tipos, textiles, goma, cuero, madera y residuos de jardín; la fracción inorgánica está formada por artículos como vidrios, cerámicas, latas, metales férreos, y suciedad.

Generalmente a este tipo de residuos corresponden los que se descomponen muy fácilmente. Su fuente de origen es la manipulación, preparación, cocción y la ingestión de comida. Frecuentemente, la descomposición conducirá al desarrollo de olores molestos y a la reproducción de

moscas.

➤ Comerciales.

Son los residuos generados por la actividad propia del comercio, al por mayor y al por menor, de los servicios de restaurantes, bares, cafeterías, de la hostelería, de las oficinas, de los mercados, así como el resto del sector servicio. Son esencialmente, residuos de envases y embalajes, flejes, excedente de centros sanitarios y veterinarios.

➤ Industriales.

Son aquellos que resultan de los procesos de fabricación, transformación, utilización, consumo, limpieza o mantenimiento generados por la actividad industrial.

➤ Bio-residuos.

Son los residuos biodegradables de origen vegetal y/o animal, susceptibles de degradarse biológicamente ya sea de origen alimentario y de cocina o procedente de zonas verdes como la poda.

➤ Construcción.

Son residuos de materiales inertes y reactivos que resultan de una demolición o sobrantes de estructuras, este tipo de desechos son no biodegradables, pero pueden ser algunos reutilizables, por lo general suelen ser baldosas, cemento, ladrillos, madera, metal y yeso.

➤ Sanitarios.

Por lo general de procedencia médica, estos se pueden clasificar en lacerantes, patológicos, otros desechos infecciosos, farmacéuticos (incluidos los

citotóxicos), desechos químicos peligrosos. En general, entre el 75% y 90% son desechos no infecciosos y no peligrosos, aunque los infecciosos son aquellos que podrían contener patógenos (bacterias, virus, parásitos u hongos que causan enfermedades) en una concentración suficiente para causar enfermedades en huéspedes susceptibles.

➤ **Mineros.**

Estos residuos debido a la industria extractiva son sólidos, acuosos o en pasta que quedan tras la investigación y aprovechamiento de un recurso geológico, tales como son los estériles de mina, colas de procesos e incluso la tierra vegetal.

➤ **Radioactivos.**

La mayor parte de desechos consiste en fuentes radioactivas selladas en desuso, pueden ser de cobalto de alta actividad que se usa para tratamientos de cáncer, se consideran desechos cuando deja de utilizarse o no son aptas para el uso previsto o también se puede dar en actividades y procesos en que el material radioactivo natural queda concentrado en el material de desecho como en el caso del uranio empobrecido utilizado en fabricación de combustibles.

➤ **Desechos Químicos.**

Son los restos de sustancias químicas y sus empaques o cualquier otro residuo contaminado con estos, los cuales, dependiendo de su concentración y tiempo de exposición pueden causar daños a los seres humanos y al medioambiente.

Los contaminantes químicos pueden ser orgánicos o inorgánicos.

Los contaminantes inorgánicos son diversos productos disueltos o dispersos en el agua que proviene de descargas domésticas, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo. Los principales son cloruros, sulfatos, nitratos, y carbonatos, elementos de limpieza, solventes, etc.

Gran parte de estos contaminantes son liberados directamente a la atmosfera y bajan arrastrados por la lluvia.

- **Fármacos:** son aquellos medicamentos o excedentes de las sustancias que han sido empleados en cualquier tipo de procedimiento y están vencidos, deteriorados o parcialmente consumidos. Los más peligrosos son los antibióticos y las drogas citotóxicas usadas para el tratamiento del cáncer.
- **Citotóxicos especiales:** son residuos que por sus características fisicoquímica y su composición, presentan riesgos para el medio ambiente. Presentan características agresivas tales como corrosividad, reactividad, inflamabilidad, toxicidad, explosividad y radiactividad.
- **Residuos radiactivos:** son las sustancias emisoras de energía predecible o continúa en forma alfa, beta o de fotones, cuya interacción con la materia, puede dar lugar a la emisión de rayos X y neutrones, provenientes de laboratorios de análisis clínicos y servicios de medicina nuclear.

### **3. Clasificación según su composición**

#### ➤ **Desechos Orgánicos.**

Están compuestos por los desperdicios de comida, fruta, plantas y otros. Son considerados materiales biodegradables, los cuales con el pasar del tiempo (por efectos de humedad, temperatura, con ayuda de los hongos y las bacterias)

se descomponen y se transforman en humus.

➤ Desechos Inorgánicos.

Están compuestos por materiales inertes y que nunca han tenido vida. En muchos casos ha intervenido el trabajo humano para poder fabricarlos, como el plástico, el vidrio o los objetos de metal. Estos no son biodegradables por los microorganismos, así que su descomposición es, en la mayoría de los casos, muy lenta. Sin embargo, desechos como las piedras y la ceniza pertenece a esta categoría.

Los impactos ambientales son la contaminación de los recursos hídricos, del aire, del suelo de los ecosistemas tropicales diversos de Centroamérica y el deterioro del paisaje. La acumulación de residuos sólidos puede formar una barrera de contención del flujo del agua, lo que causaría inundaciones locales y como consecuencia, la erosión y la pérdida de suelos fértiles. Además, los residuos acumulados atraen aves de rapiña y otros animales no deseables y que deteriora el valor estético de los hogares y de los paisajes.

Características físico química, usos de DSNB e impactos ambientales generados por desechos sólidos no biodegradables.

➤ Mezclas de desechos.

En esta clasificación entran todos los desechos que son recolectados mayoritariamente en el sector urbano ya que es se producen recolecciones heterogéneas ya que se pueden encontrar desechos orgánicos, inorgánicos de los cuales suelen terminar en rellenos sanitarios o botaderos a cielo abierto sin ser clasificados.

➤ Desechos peligrosos.

Son sólidos, gases, líquidos y pastosos contenidos en recipientes que, por su reactividad química, características tóxicas, etc. Causan daños a la salud o al ambiente; por lo cual necesitan un manejo especial y vigilancia desde su generación hasta su disposición final.

## **1.2 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS DESECHOS SÓLIDOS**

La información sobre la composición de los desechos sólidos es importante en la evaluación de alternativas sobre necesidades de equipo, sistemas, programas y planes de manejo. Se puede considerar la recolección separada si la ciudad o institución está involucrada en un programa de recirculación de desechos reutilizables. La evaluación de la factibilidad de la incineración depende de la composición química de los desechos sólidos.

La composición física y química de los desechos sólidos municipales o que se produzcan en una institución pública se discuten en este apartado, la discusión se limita a un análisis de los desechos, debido a que la consideración de la composición de todos los tipos de desechos agregaría información útil y es más allá del alcance de este texto, el cual trata principalmente del manejo de desechos sólidos a nivel de municipalidad. Sin embargo, es importante anotar que las bases del análisis presentado son aplicables a todos los tipos de desechos. Por lo cual se presentan varios métodos de ensayos físicos, químicos y biológicos para desechos sólidos.

Es importante describir los componentes individuales que constituyen el flujo de residuos sólidos y su distribución relativa, usualmente basada en porcentajes

para que la incineración sea efectiva en un determinado desperdicio.

Las características más importantes de los residuos orgánicos son:

- Porcentaje en peso.
- Peso específico.
- Contenido de humedad.
- Composición química.

### **1.2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS**

Para nuestro estudio de los componentes individuales que constituyen los desechos sólidos municipales o institucionales hemos tomado de referencia lo que se genera en algunas municipalidades con relevancia a sus contenidos de humedad, poder calorífico entre otros.

Se han seleccionado los que son más identificables y consistentes con las categorías componentes reportadas en la literatura y debido a que se ha comprobado que son más adecuadas para la caracterización de los desechos sólidos, para la mayoría de las aplicaciones.

- Porcentaje en peso.

Dentro de los camiones recolectores de desechos comúnmente estos no vienen clasificados y en un muestreo que se le puede hacer en un día de recolección podemos sacar el dato del porcentaje que este contiene y sacar los valores de la siguiente tabla 1.1 medidos en porcentajes.

Tabla 1.1. Composición física típica de los residuos sólidos urbanos domésticos.

Componente	Porcentaje en peso	
	Rango	Típico
<b>Orgánicos</b>		
<b>Residuos de comida</b>	6-8	9.0
<b>Papel</b>	25-40	34.0
<b>Cartón</b>	3-10	6.0
<b>Plásticos</b>	4-10	7.0
<b>Textiles</b>	0-4	2.0
<b>Goma</b>	0-2	0.5
<b>Cuero</b>	0-2	0.5
<b>Residuos de jardín</b>	5-20	18.5
<b>Madera</b>	1-4	2.0
<b>Orgánicos misceláneos</b>	-----	-----

Fuente: [Tchobanoglous, 1994, Pág. 57]

➤ **Peso específico.**

Define como el peso de un material por unidad de volumen ( $Kg/m^3$ ). Esto debido a que el peso de los residuos sólidos orgánicos (RSU se refiere a residuos sueltos no compactados). Los datos sobre el peso específico a menudo son necesarios para valorar la masa y el volumen total de los residuos que tienen que ser gestionados.

Los RSU tal como se entregan por los vehículos de compactación se ha comprobado que varían desde  $178 Kg/m^3$  hasta  $415 Kg/m^3$ , con un valor típico de aproximadamente  $300 Kg/m^3$ .

En la tabla 1.2 se presentan pesos específicos típicos para varios tipos de residuos tal como son encontrados sin compactación.

➤ Contenido de humedad.

El contenido de humedad de un desecho sólido, generalmente, se expresa como el peso de humedad por unidad de peso de material húmedo o seco. En el método de medida en peso húmedo, la humedad de una muestra se expresa como un porcentaje del peso húmedo del material; en el método en seco, se expresa como un porcentaje del peso seco del material. En forma de ecuación, el contenido de humedad en peso húmedo se expresa como sigue:

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{a - b}{a} * 100$$

Donde:

- a = peso inicial de la muestra, como se entrega.
- b= peso de la muestra después de secar.

En la tabla 1.2, se dan datos típicos del contenido de humedad para los componentes de los desechos sólidos de la tabla anterior, para la mayoría de los desechos sólidos municipales, el contenido de humedad variara del 15% al 40%, dependiendo de la composición de los desechos, la estación del año y las condiciones de humedad y meteorológicas, particularmente la lluvia.

Tabla 1.2. Datos típicos del contenido de humedad de los componentes de los desechos sólidos municipales.

Componente	POR CIENTO DE HUMEDAD	
	Rango	Típico
Desechos de alimentos	50 – 80	70
Papel	4 – 10	6
Cartón	4 – 8	5
Plásticos	1 – 4	2
Textiles	6 – 15	10
Caucho	1 – 4	2
Cuero	8 – 12	10
Desechos de jardín	30 – 80	60
Madera	15 – 40	20
Vidrio	1 – 4	2
Envases de hojalata	2 – 4	3
Metales no ferrosos	2 – 4	2
Metales ferrosos	2 – 6	3
Tierra, ceniza, ladrillo, etc.	6 – 12	8
Desechos sólidos municipales	15 - 40	20

### 1.2.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

La información sobre la composición química de los desechos sólidos es importante en la evaluación de opciones alterna de procesado y recuperación. Por ejemplo, considere el proceso de incineración. Típicamente se puede pensar de los desechos como una combinación de materiales combustibles semihúmedos y no combustibles, si se va a utilizar desechos sólidos como combustible, las cuatro cualidades más importantes a conocer son:

- Análisis inmediato.
- Humedad (perdida a 105 °C durante 1 hora).
- Material volátil (perdida adicional por ignición a 950 °C)
- Cenizas (residuos después de quemar)
- Carbón fijo (restante)

- Punto de fusión de la ceniza.
- Análisis final, por ciento de C (carbono), H (hidrógeno), O (Oxígeno), N (Nitrógeno), S (azufre) y Ceniza.
- Valor calórico.

Un análisis inmediato de los componentes combustibles de desechos sólidos municipales como son descartados se presenta en la siguiente tabla 1.3.

Tabla 1.3. Análisis inmediato típico para desechos sólidos municipales.

Componente	VALOR POR CIENTO	
	Rango	Típico
Humedad	15 – 40	20
Materia volátil	40 – 60	53
Carbón – fijo	5 – 12	7
Vidrio, metal, ceniza	15 - 30	20

En la tabla 1.4, se presentan datos representativos del análisis final de componentes típicos de desechos municipales. Si los valores BTU no son disponibles, se puede determinar el valor aproximado de BTU usando la ecuación siguiente, conocida como la fórmula modificada de Dulong.

$$Btu. lib = 145.4 C + 620(H - 1/8 O) + 41 S$$

Donde:

- C = carbón, por ciento.
- H = Hidrógeno, por ciento.
- O = Oxígeno, por ciento.
- S = Azufre, por ciento.

Un residuo normalmente implica la determinación del porcentaje de C (Carbono), H (hidrógeno), O (Oxígeno), N (Nitrógeno), S (Azufre) y Cenizas. Los resultados del análisis utilizan para caracterizar la composición química de la

materia orgánica en los RSU. Para después utilizarlos en los cálculos de la combustión por incineración.

La característica biológica más importante de la fracción orgánica de los RSU es que casi todos los componentes orgánicos pueden ser convertidos biológicamente en gases y sólidos orgánicos e inorgánicos relativamente inerte a través de la combustión mediante el proceso de incineración.

Tabla 1.4. Datos típicos sobre el análisis final de componentes combustibles en desechos sólidos municipales.

Componente	POR CIENTO EN PESO (base seca)					
	Carbón	Hidrógeno	Oxígeno	Nitrógeno	Azufre	Ceniza
Desechos de alimentos	48,0	6,4	37,6	2,6	0,4	5,0
Papel	43,5	6,0	44,0	0,3	0,2	6,0
Cartón	44,0	5,9	44,6	0,3	0,2	5,0
Plásticos	60,0	7,2	22,8	-	-	10,0
Textiles	55,0	6,6	31,2	4,6	0,15	2,5
Caucho	78,0	10,0	-	2,0	-	10,0
Cuero	60,0	8,0	11,6	10,0	0,4	10,0
Desechos de jardín	47,8	6,0	38,0	3,4	0,3	4,5
Madera	49,5	6,0	42,7	0,2	0,1	1,5
Tierra, ceniza, ladrillo, etc.	26,3	3,0	2,0	0,5	0,2	68,0

En la tabla 1.5, se reportan datos típicos sobre el residuo inerte y los valores calóricos para desechos municipales, como se muestra, los valores calóricos se han seleccionado con base a la forma en que se descartan. Los valores en BTU, se puede convertir a base seca usando la ecuación siguiente:

$$\frac{BTU}{lb} (base\ seca) = Btu (como\ se\ descartan) \frac{100}{100 - \% Humedad}$$

La ecuación correspondiente para BTU por libra sobre una base de cenizas es:

$$\frac{Btu}{lb} \text{ (seco libre de cenizas)} = \frac{BTU}{lb(\text{como se descartan}) |A|}$$

$$A = \frac{100}{100 - \% \text{ Ceniza} - \% \text{ Humedad}}$$

Tabla 1.5. Datos típicos sobre residuos inerte y contenido de energía de desechos sólidos municipales.

Componente	RESIDUO INERTE*		ENERGIA Btu/lb*	
	Rango	Típico	Rango	Típico
Desechos de alimentos	2 – 8	5	1500 – 3000	2000
Papel	4 – 8	6	5000 – 8000	7200
Cartón	3 – 6	5	6000 – 7500	7000
Plásticos	6 – 20	10	12000 – 16000	7000
Textiles	2 – 4	2,5	6500 – 8000	7500
Caucho	8 – 20	10	9000 – 12000	10000
Cuero	8 – 20	10	6500 – 8500	7500
Desechos de jardín	2 – 6	4,5	1000 – 8000	2800
Madera	0,6 – 2	1,5	7500 – 8500	8000
Vidrio	96 - 99 <sup>+</sup>	98	50 – 100	60
Envases de hojalata	96 – 99 <sup>+</sup>	98	100 – 500	300
Metales no ferrosos	90 – 99 <sup>+</sup>	96		
Metales ferrosos	94 – 99 <sup>+</sup>	98	100 – 500	300
Tierra, ceniza, ladrillo, etc.	60 – 80	70	1000 – 5000	3000
Desechos sólidos municipales			4000 - 5500	4500

### **1.3 MANEJO E INSTITUCIONES RESPONSABLES DEL MANEJO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS**

El manejo de los desechos sólidos se puede definir como una disciplina asociada con el control de la producción, almacenamiento, recolección, transferencia y transporte, procesado y disposición de desechos en una forma tal que esté de acuerdo con los mejores principios de salud pública, economía, ingeniería, conservación, estética y otras consideraciones ambientales y que también es sensible a las actitudes del público. Dentro de este contexto, el manejo de los desechos sólidos incluye todas las funciones administrativas, financieras, legales, de planificación e ingeniería involucradas en el espectro de soluciones a problemas de desechos sólidos que afectan a la comunidad por sus habitantes. Las soluciones pueden involucrar relaciones interdisciplinarias complejas tales como campos tan políticos como ciencias políticas, planificación urbana y regional, geografía, economía, salud pública, sociología, demografía, comunicaciones y conservación, lo mismo que ingeniería y ciencias de materiales.

#### **1.3.1 MANEJO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS**

Los problemas asociados con el manejo de desechos sólidos en la sociedad de hoy en día son complejos debido a la diferente cantidad y naturaleza de los desechos, el desarrollo irregular de grandes áreas urbanas, las limitaciones de recursos públicos en muchas grandes ciudades. Como consecuencia, si el manejo de los desechos sólidos se va a realizar de una manera eficiente y ordenada, se debe identificar y comprender claramente los aspectos y relaciones

fundamentales.

En este texto, las actividades asociadas con el manejo de desechos sólidos desde el lugar de producción hasta la disposición final han sido agrupadas en seis elementos funcionales. Considerando cada elemento funcional por separado, es posible 1) identificar los aspectos y relaciones fundamentarse involucrados en cada elemento y 2) desarrollar, donde sea posible, relaciones cuantificables con el propósito de hacer comparaciones, análisis y evaluaciones ingenieriles.

Para resolver problemas específicos de desechos sólidos, los distintos elementos funcionales se combinan en lo que generalmente es conocido como un sistema de manejo de desechos sólidos. En la mayoría de las ciudades, un sistema como se muestra en la figura 1.2 de manejo de desechos sólidos comprende cuatro elementos funcionales: producción de desechos, almacenamiento in situ, recolección y disposición.

Además, uno de los objetivos del manejo de desechos sólidos es la optimización de estos sistemas para proporcionar la solución más eficiente y económica, en concordancia con todas las restricciones impuestas por los usuarios del sistema y aquellos que son afectados o controlan su uso.

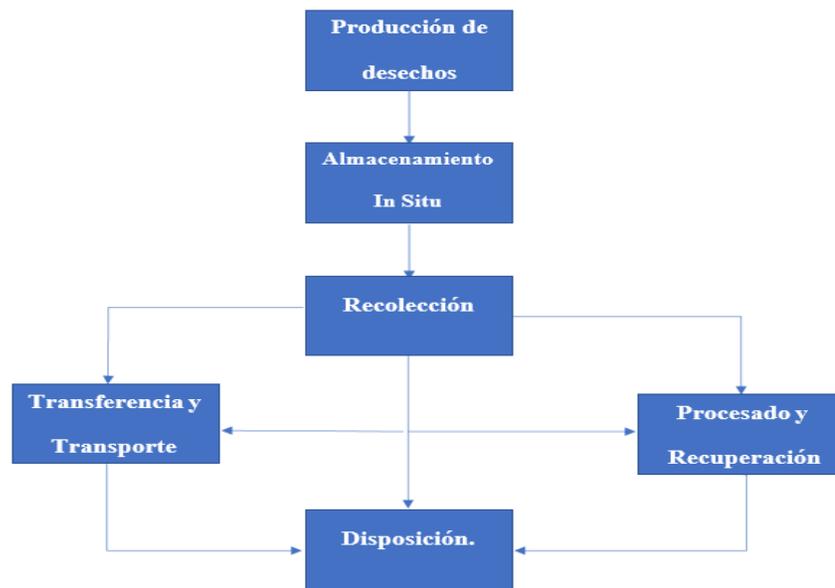


Figura 1.2. Diagrama simplificado que muestra las interrelaciones de los elementos funcionales en un sistema de manejo de desechos sólidos.

Se pretende conocer los aspectos físicos del manejo de desechos sólidos y establecer una estructura útil dentro de la cual se visualicen las actividades asociadas con el manejo de desechos sólidos.

➤ **Producción de desechos.**

La producción de desechos comprende aquellas actividades en las cuales se identifican los materiales que ya no son útiles y son desechados o recogidos para su disposición. Por ejemplo, la envoltura de una barra de caramelo se considera de poco valor para el propietario una vez consumido el caramelo y con mayor frecuencia es desechada de inmediato, especialmente a campo raso lo que es importante en la producción de desechos es que hay una etapa de identificación y que esta etapa varía con cada individuo.

Debido a que la producción de desechos es, actualmente, una actividad no muy controlable, frecuentemente no es considerada como un elemento funcional.

En el futuro, sin embargo, probablemente se ejercerá un mayor control sobre la producción de desechos. Por ejemplo, desde el punto de vista económico, el mejor lugar para sortear materiales de desechos con propósitos de recuperación es en la fuente de producción. Los propietarios de las viviendas se están volviendo más conscientes de la importancia de separar periódicos y cartón, latas de acero delgado, aluminio y botellas.

➤ **Almacenamiento In Situ.**

Aunque los desechos sólidos de fuentes urbanas pueden constituir solo un porcentaje mínimo de los desechos sólidos de la nación, su manejo exige un gran esfuerzo continuo. La razón es que son desechos heterogéneos visibles, que son producidos, en su mayor parte, donde la gente vive y en áreas con espacios limitados para el almacenamiento. Estos desechos no se pueden tolerar largo tiempo en base a premisas personales debido a su degradabilidad, y deben ser trasladados en un tiempo razonable, generalmente menos de 8 días.

El costo de proveer almacenamiento para desechos sólidos en la fuente normalmente es aportado por el dueño de la vivienda o apartamento en el caso de individuos, o por la administración de propiedades comerciales o industriales. El almacenamiento in situ es de importancia primordial debido a consideraciones estéticas, de salud pública y económica involucradas. Frecuentemente, se ven recipientes de aspecto desagradable y lugares de almacenamiento al aire libre, ambos son inaceptables, en áreas residenciales y comerciales.

➤ **Recolección.**

El elemento funcional de recolección, como se usa en este documento, incluye no solamente la recogida de los desechos sólidos, sino también el acarreo de los desechos después de la recolección hasta el lugar donde es vaciado el vehículo de recolección. Este lugar puede ser una estación de transferencia o un sitio de disposición. En ciudades pequeñas donde los sitios de disposición final están cerca. El acarreo de los desechos no es un problema. En grandes ciudades, sin embargo, donde el acarreo al sitio de disposición frecuentemente es mayor a diez millas, el acareo puede tener implicaciones económicas serias.

La solución al problema de acarreo a grandes distancias se complica con el hecho de que los vehículos a motor que son bien adaptados para el acarreo a larga distancia no son adecuados o particularmente económicos para la recolección casa por casa. Por consiguiente, en la mayoría de los casos, se necesitan instalaciones y equipos adicionales de transferencia y transporte.

➤ **Transferencia y transporte.**

El elemento funcional de transferencia y transporte comprende dos etapas: 1) la transferencia de los desechos desde un vehículo de recolección pequeño a un equipo de transporte más grande y 2) el transporte subsiguiente de los desechos, generalmente, sobre grandes distancias, al sitio de disposición, la transferencia generalmente tiene lugar en una estación de transferencia. Aunque el transporte en vehículos de motor es más común, también se usan ferrocarriles o barcazas para transportar desechos.

➤ **Procesado y Recuperación.**

El elemento funcional de procesado y recuperación incluye todas las técnicas, equipo e instalaciones usadas para mejorar la eficiencia de los otros elementos funcionales y para recuperar materiales utilizables, conversión de productos o energía de desechos sólidos.

En la recuperación de materiales, como un ejemplo, las operaciones de separación han sido ideadas para recuperar recursos valiosos de los desechos sólidos mezclados, entregados a las estaciones de transferencia o plantas de procesado de desechos sólidos. Estas operaciones incluyen reducción de tamaño y separación de densidad mediante clasificadores de aire. Una ulterior separación puede incluir dispositivos magnéticos para extraer hierro, separadores de corriente en contraflujo para aluminio y mallas para vidrio. También pueden ser reusados: la flotación, separación por inercia y otras operaciones unitarias de la industria metalurgia. La selección de cualquier proceso de recuperación es una función económica – costo de separación versus valor de los materiales recuperados o productos. Debido a que los precios fluctúan ampliamente, en cualquier análisis económico se deben considerar estimativos de los precios máximos y mínimos.

Actualmente, muchas de las operaciones y procesos unitarios para desechos sólidos están experimentando un desarrollo extensivo por parte de los fabricantes de equipos y por la EPA, a través de sus programas de investigación, desarrollo y demostración. Muchos de los métodos más antiguos se han encontrado insatisfactorio desde uno o más puntos de vista-salud pública,

económicos, problemas ambientales, lo mismo que el agotamiento de los terrenos disponibles y subsiguientes restricciones colocadas sobre el uso de terrenos por las autoridades de planificación.

➤ **Disposición.**

El último elemento funcional en el sistema de manejo de desechos sólidos representado en el esquema antes mostrado es el último destino de todos los desechos sólidos, ya sean desechos residenciales recolectados y transportados directamente a un relleno sanitario, desechos semisólidos (lodo) de plantas de tratamiento municipales o industriales, residuos del incinerador, abono u otra sustancia de diferentes plantas de procesamiento de desechos sólidos que ya no son útiles a la sociedad.

Para la disposición final, la planificación del uso de la tierra se convierte en un determinante primordial en la selección y operación que se pretende hacer. Se exigen declaraciones de impacto ambiental para todos los nuevos sitios con el fin de asegurar el cumplimiento de las normas de salud pública, estética y uso futuro de la tierra.

Se debe seguir los principios de ingeniería para el mejor manejo de los desechos al área más pequeña posible, reducirlos al mínimo volumen práctico mediante compactaciones u otros medios en el sitio y en el caso de la incineración evitar el estancamiento de los desechos y que todos vayan siendo incinerados de forma que se vayan eliminando primero los que vayan teniendo más tiempo en el sitio.

Los seis elementos funcionales que constituyen los sistemas de manejo de los desechos sólidos como se mencionó anteriormente no son los únicos ya que también se necesitan de otros aspectos prácticos asociados con el sistema de manejo de desechos sólidos que no se cubren en detalle en este texto. Esto incluye: financiamiento, operaciones, manejo de equipo, personal, informes, contabilidad de costos y presupuestos. Administración de contratos, ordenanzas y lineamientos y comunicaciones públicas.

### **1.3.2 INSTITUCIONES RESPONSABLES DEL MANEJO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS EN EL SALVADOR**

En el país, la gestión de los desechos es una responsabilidad compartida entre Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) como entes normativos, y los gobiernos locales como entes operativos; también actúan en los municipios empresas privadas prestadoras de servicios de recolección, tratamiento y disposición final.

- El trabajo de los entes operativos

A diferencia de otros países de Latinoamérica, en El Salvador existe un impuesto municipal para la recolección y disposición final de residuos, que está incluido en el recibo de la energía eléctrica mensualmente.

Los residuos de San Salvador y de 62 municipios son depositados en el relleno sanitario de Manejo Integral de Desechos Sólidos (MIDES), una empresa que nació en 1999 a través de un acuerdo mixto entre las alcaldías que conforman el Consejo de Alcaldes del Área Metropolitana de San Salvador (COAMSS) y

entidades privadas. A pesar de que el Consejo nació como el primer socio público-privado del país con financiamiento mixto, actualmente es administrado por empresas privadas.

- Los recolectores y su disposición

La Agencia de la Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA) y los países centroamericanos (incluyendo El Salvador), desde el año 2005 han acordado desarrollar las siguientes directrices para la gestión de los desechos sólidos.

La prevención y reutilización de desechos, la cual se refiere a las opciones de la política, en lo concerniente al manejo integrado de desechos sólidos, lo que incluye la prevención, la reutilización y la reducción de desechos.

Producción de compostaje, considerando que más del 50% del flujo de desechos está compuesto por varias formas de desechos orgánicos que incluyen desechos de alimentos y jardines, los materiales orgánicos se pueden comportar para proporcionar una gran oportunidad para reducir la cantidad de desechos que de otra forma irían a parar a un vertedero, y ellos también proveen un producto final valioso que puede generar ingresos para las comunidades.

Recuperación y reciclaje, debido a que existen muchas oportunidades para reciclar una gran porción de los materiales presentes en el flujo de desechos; para lo cual se deben desarrollar mercados, métodos de recolección, centros de recuperación de material, compra de productos reciclados, e identificación de materiales prioritarios para el reciclaje.

Recolección de desechos, para poder proveer una recolección de desechos segura, eficiente, sanitaria y orientada a las necesidades del cliente es esencial dentro de cualquier programa de manejo de desechos sólidos.

Disposición de desechos sólidos, esta directriz presenta opciones de políticas para facilitar el período de transición hacia prácticas más modernas para la disposición de desechos. Se aborda también, la necesidad de clausurar vertederos a cielo abierto; el desarrollo de regulaciones relacionadas con el diseño, construcción y operación de vertederos de rellenos sanitarios; el fomento de vertederos de rellenos sanitarios regionales; la prohibición de quemas descontroladas de basuras; la definición y manejo de categorías especiales de desechos y el mantenimiento de costos razonables para la disposición de desechos.

Manejo de desechos peligrosos, esta directriz considera muy importante que los gobiernos nacionales establezcan estándares y criterios para definir “desechos peligrosos,” y la localización de vertederos de rellenos sanitarios para estos desechos dentro de sus fronteras para asegurarse que exista protección de la salud pública y el ambiente. Un manejo inapropiado de estos materiales durante el transporte, tratamiento y disposición de los desechos puede resultar en una infiltración de lixiviados químicos de los desechos enterrados hacia las aguas subterráneas o aguas superficiales.

➤ **El Compostaje**

En 1996, la municipalidad de Suchitoto con el Centro Salvadoreño de Tecnología Apropiada (CESTA) desarrolla en dicho municipio un plan de separación domestica de residuos orgánicos para su recolección selectiva y posterior compostaje en el barrio L Cruz del casco urbano.

En 1998, la ciudad de San Lorenzo inicia la separación en el origen de residuos orgánicos para su posterior recolección y producción de compost retomando esta iniciativa.

Desde el año 2002, Santa Tecla brindo inicio la separación de los desechos sólidos reciclables por medio de la separación desde su origen. En el año 2005 es creado ECOSANTE a iniciativa de la Gerencia de Medio Ambiente, la cual consiste en una microempresa, a la cual se le definió un territorio de acción en la Colonia Quezaltepeque, para poder realizar la recolección separada de materiales reciclables, siendo el proyecto pionero para reducir la cantidad de desechos sólidos producidos por el municipio. En el 2006 la producción generada de desechos sólidos era de 119 toneladas por día, de los cuales el 59% está representado por materiales orgánicos que pueden ser transformados en Compost, para ello se pone en funcionamiento la Planta de compostaje en el Cantón las Granadillas de Santa Tecla. En el 2008, con apoyo de PNUD se crea el proyecto YO RECICLO, el cual consiste en la creación de una microempresa representada por tres comunidades marginales dándoles empleo a 16 personas en los cuales se encuentran adultos mayores y madres solteras e inicia la recolección separada en colonias de renta media-alta donde se da un mayor

consumo. Se establece la recolección separada y se recolectan de 450 a 500 quintales al mes.

➤ **El Plástico**

En el 2001, el MARN en coordinación con el MPSAS iniciaron el programa Nacional de Reciclaje y recolección de bolsas y envases plásticos. Mediante este programa se involucró a la mayoría de empresas envasadoras de bebidas del país, promoviendo tasas de recuperación y reciclaje de los residuos plásticos. RECIPLAST ha quedado participando en recuperación de bolsas y envases plásticos con algunos de sus socios

En 2001, ASIPLASTIC con el apoyo de sus empresas socias, crea un programa de recuperación de Desechos plásticos denominado Eco Amigos del Plástico.

En 2009 se crea el Programa Santa Tecla Recicla con la participación de centros escolares y empresas como Termoencogibles, Reasa, Tacoplast, entre otras. Además, se inicia el programa Desecho Cero en 2011 inicialmente con apoyo del Ministerio de MARN y posteriormente con apoyo de PNUD y CODESUL. En Santa Tecla, se inicia la recuperación de diversos tipos de residuos además de los residuos comunes como plástico, papel y cartón que recupera YO RECICLO y que incluye la recuperación de llantas y aceite usado en coordinación con HOLCIM, recuperación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en coordinación con la empresa AUTOCONSA y recuperación de ripio, el cual se reutilizaba para bacheo de calles secundarias y caminos vecinales. Actualmente en Santa Tecla se continúa con un Plan de reciclaje a

nivel municipal.

#### **1.4 MARCOS LEGALES APLICABLES A LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS Y NORMATIVAS MEDIOAMBIENTALES EN EL SALVADOR CON RESPECTO A LA INCINERACIÓN**

En el transcurso de la historia se han venido dando varios eventos en lo concerniente al reciclaje y al manejo de los desechos sólidos. En el año 1997, el ejecutivo crea una secretaria de estado que se encargue de formular, planificar y ejecutar las políticas de gobierno en materia de medio ambiente y recursos naturales y se crea el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). En conformidad al decreto legislativo N° 233 se crea la ley de medio ambiente que tiene por objeto desarrollar las disposiciones de la Constitución de la República que se refiere a la protección, conservación y recuperación del medio ambiente, el uso sostenible de los recursos naturales que permitan mejorar la calidad de vida de las presentes y futuras generaciones. (Oficina de Información y Respuesta, 2019)

En la figura 1.3, se muestran en línea de tiempo, las acciones en función de la gestión de Desechos Sólidos de los años comprendidos entre 1998 al 2010:

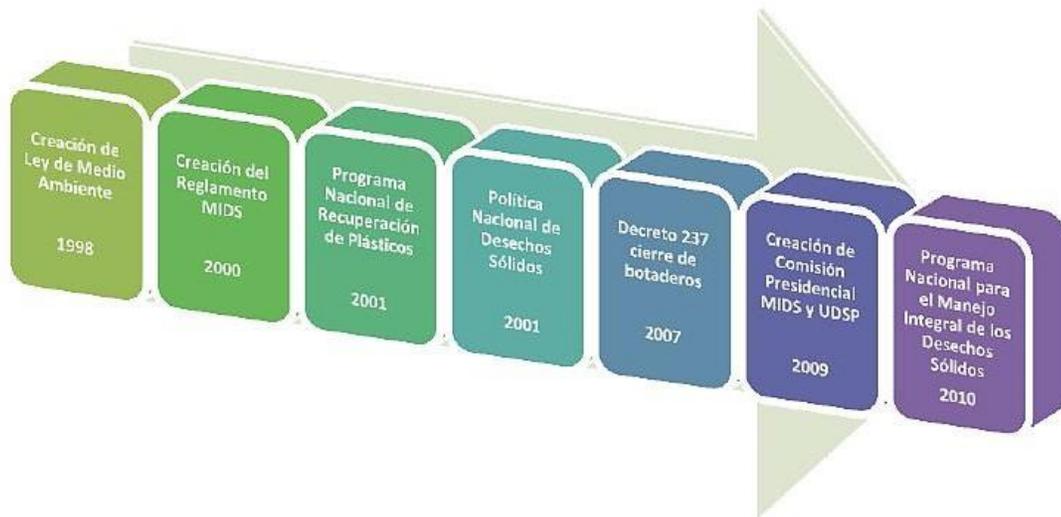


Figura 1.3. Línea de tiempo en función de la gestión de Desechos Sólidos

### 1.4.1 MARCOS LEGALES DE EL SALVADOR EN LA GESTIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS

De las leyes interpuestas hasta el día de ahora, concernientes a los desechos sólidos, se detalla lo siguiente:

➤ **Ley de Medio Ambiente (MARN).**

**REGLAMENTO ESPECIAL SOBRE EL MANEJO INTEGRAL DE LOS DESECHOS SOLIDOS**

- **OBJETO Y ALCANCE**

Art. 1.- El presente Reglamento tiene por objeto regular el manejo de los desechos sólidos. El alcance de este será el manejo de desechos sólidos de origen domiciliario, comercial, de servicios o institucional; sean procedentes de la limpieza de áreas públicas, o industriales similares a domiciliarios, y de los sólidos sanitarios que no sean peligrosos.

De aquí en adelante la Ley del Medio Ambiente será llamada La Ley y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, el Ministerio.

- **ÁMBITO DE APLICACIÓN**

Art. 2.- Las disposiciones del presente Reglamento se aplicarán en todo el territorio nacional y serán de observancia general y de cumplimiento obligatorio para toda persona natural o jurídica.

- **ESPECIFICACIÓN DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL**

Art. 5.- En aquellos casos en que se establezcan sitios de almacenamiento colectivo temporal de desechos sólidos en las edificaciones habitables, deberán cumplir, en su grado mínimo, con las siguientes especificaciones:

a) Los sistemas de almacenamiento temporal deberán permitir su fácil limpieza y acceso;

b) Los sistemas de ventilación, suministro de agua, drenaje y de control de incendios, serán los adecuados;

c) El diseño deberá contemplar la restricción al acceso de personas no autorizadas y de animales; y

d) Los sitios serán diseñados para facilitar la separación y la recuperación de materiales con potencial reciclable.

- **EQUIPOS DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE**

Art. 8.- El equipo de recolección y transporte de desechos sólidos deberá ser apropiado al medio y a la actividad. Dicho equipo deberá estar debidamente identificado y encontrarse en condiciones adecuadas de funcionamiento, y llevará inscrito en lugar visible y con material indeleble la magnitud de la tara. Los equipos deben ir debidamente cubiertos para evitar la dispersión de los desechos.

- **TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS**

Art. 11.- La utilización del Sistema de Tratamientos de Desechos Sólidos en el país dependerá fundamentalmente de la naturaleza y la composición de los desechos. Para los efectos del presente Reglamento, se identifican los siguientes Sistemas de Tratamiento:

- a) Compostaje;
- b) Recuperación, que incluye la reutilización y el reciclaje; y
- c) Aquéllos específicos que prevengan y reduzcan el deterioro ambiental y que faciliten el manejo integral de los desechos.

Para la aplicación de estos Sistemas de Tratamientos se requerirá la obtención del permiso ambiental.

- DE LAS SANCIONES

Art. 22.- Las contravenciones a las disposiciones del presente Reglamento, serán sancionadas de conformidad con el régimen establecido en la Ley.

- CONTAMINACIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL DE DESECHOS SÓLIDOS

Art. 52. El Ministerio promoverá, en coordinación con el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Gobiernos Municipales y otras organizaciones de la sociedad y el sector empresarial el reglamento y programas de reducción en la fuente, reciclaje, reutilización y adecuada disposición final de los desechos sólidos. Para lo anterior se formulará y aprobará un programa nacional para el manejo Integral de los desechos sólidos, el cual incorporará los criterios de selección de los sitios para su disposición final.

- CONTAMINACIÓN POR SUSTANCIAS, RESIDUOS Y DESECHOS PELIGROSOS

Art. 60. Toda persona natural o jurídica que use, genere, recolecte, almacene, reutilice, recicle, comercialice, transporte, haga tratamiento o disposición final de sustancias, residuos y desechos peligrosos, deberá obtener el Permiso Ambiental correspondiente, de acuerdo a lo establecido en esta ley.

- RESPONSABILIDAD POR CONTAMINACIÓN Y DAÑOS AL AMBIENTE

Art. 85: Quien, por acción u omisión, realice emisiones, vertimientos, disposición o descarga de sustancias o desechos que puedan afectar la salud humana, ponga en riesgo o causare un daño al medio ambiente, o afectare los procesos ecológicos esenciales o la calidad de vida de la población, será responsable del hecho cometido o la omisión, y estará obligado a restaurar el medio ambiente o ecosistema afectado. En caso de ser imposible esta restauración, indemnizará al Estado y a los particulares por los daños y perjuicios causados.

- FIJACIÓN DE LAS MULTAS

Art. 89.- Las multas se establecerán en salarios mínimos mensuales, equivaliendo cada salario mínimo mensual a treinta salarios mínimos diarios urbanos vigentes para la ciudad de San Salvador.

Las infracciones menos graves se sancionarán de dos a cien salarios mínimos mensuales; y las graves, de ciento uno a cinco mil salarios mínimos mensuales.

Corresponderá a la autoridad sancionadora calificar la infracción. Las sanciones administrativas no exoneran al sancionado de la responsabilidad penal en que incurra.

El artículo 52 de la Ley de Medio Ambiente establece que el Ministerio promoverá programas de reducción en la fuente, reciclaje, reutilización y adecuada disposición final. Hasta 2010, es lanzado el Programa Nacional de Manejo Integral de Desechos Sólidos.

En este sentido se han dado en el periodo 1998-2018 diversas iniciativas a nivel de gobierno con apoyo de cooperación internacional, así como proyectos de empresas privadas sobre recuperación de residuos y reciclaje.

Se han creado diversas asociaciones municipales para el manejo integral de residuos sólidos que incluyen la recuperación de residuos con potencial de reciclaje.

Cabe mencionar que no tenemos leyes que regulen la incineración de desechos orgánicos, sin embargo, de Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales nos dicen:

“En relación a legislación para incineradores de basura; en el caso de los residuos peligrosos está regulado en el Reglamento Especial en Materia de Sustancias, Residuos y Desechos peligrosos.

En cuanto a la quema de residuos la Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje, establece dentro de las competencias y atribuciones institucionales en el artículo 8 las atribuciones municipales, una de ellas es incorporar en sus ordenanzas municipales las obligaciones que tendrán las personas naturales y jurídicas, públicas o privadas a realizar un manejo adecuado de los residuos.

Sin embargo, la Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje,

establece en el artículo 1 que tiene por objeto lograr el aprovechamiento y disposición final sanitaria y ambientalmente segura de los residuos, a fin de proteger la salud de las personas, el medio ambiente y fomentar una economía circular, a través del establecimiento de una visión sistemática en la gestión integral de los residuos, la determinación de los actores y su forma de interacción, y la asignación de responsabilidades para lograr cambios conductuales en la población.

Por lo anterior, se consideran al menos los procesos siguientes: disminución de la generación de residuos priorizando la prevención, el fomento a la reutilización, reparación, el reciclaje y otros tipos de valorización, concientizando a la población en la preferencia de productos que generen residuos aprovechables.”

Por lo anterior, en el caso de la incineración de desechos orgánicos, se tienen que tomar valor a los artículos que mencionan las normativas de los gases de expulsión como lo estipula el artículo 85.

➤ **Código Penal.**

El título X. capítulo II trata de los delitos relativos a la Naturaleza y el Medio Ambiente. Aquí se establecen disposiciones que tienen relación con los desechos sólidos y conductas que estén tipificadas como delito así:

- **CONTAMINACIÓN AGRAVADA.**

El artículo 225 refiere “El que provocare o realizare, directa o indirectamente emisiones, radiaciones, vertidos, vibraciones, inyecciones o depósitos de cualquier clase, en la atmósfera, en el suelo o las aguas terrestres, marinas o

subterráneas, que pudieran perjudicar gravemente las condiciones de vida silvestre, bosques, espacios naturales o plantaciones útiles, será sancionado con prisión de dos a cuatro años y multas de doscientos a doscientos cincuenta días multa.

- **CONTAMINACIÓN AMBIENTAL AGRAVADA.**

El artículo 256 establece la contaminación ambiental agravada. La pena se aumenta entre 3 a 6 años de prisión y multa de doscientos cincuenta a trescientos días de multa, si la actividad contaminante funcionare clandestinamente, o sea sin permiso o que ella hubiera desobedecido las ordenes de corrección o suspensión de las actividades o aportada la información falsa sobre aspectos ambientales de la misma actividad o si hubiese obstaculizado las actividades de inspección de la administración.

- **Código de Salud.**

Publicado en el diario oficial No. 76, tomo 379 de fecha 25 de abril de 2008.

Art. 77 los establecimientos que produzcan desechos que por su naturaleza o peligrosidad no deben entregarse al servicio público de aseo deberán establecer un sistema de tratamiento autorizado por el ministerio.

- **Código Municipal de San Salvador.**

Publicado en el diario oficial No. 51, tomo 386 de fecha 15 de marzo del 2010.

Art. 4 dispone, que compete a los municipios: numeral 19. La prestación del servicio de recolección, tratamiento y disposición final de basura, se exceptúan los desechos sólidos peligrosos y bio-infecciosos.

## **1.4.2 MARCOS LEGALES INTERNACIONALES PARA GESTIÓN Y MANEJO DE INCINERACIÓN DE DESECHOS ORGÁNICOS**

En El Salvador bien no existen normas, leyes, ni reglamentos que den especificaciones del control que se debe tener con respecto a la incineración de desechos orgánicos. Internacionalmente si existen y pueden ayudar a tener una referencia y no caer en un delito culposo por una mala ejecución en una incineración de desechos, dentro de estas podemos encontrar las siguientes:

### **➤ Convenio de Basilea.**

Se refiere al control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación, es el acuerdo mundial más completo del medio ambiente, sobre desechos peligrosos y otros desechos. Su objetivo es proteger la salud humana y el medio ambiente contra los efectos adversos derivados de la generación de los desechos peligrosos y otros desechos. Convenio de Basilea entró en vigor el 5 de mayo de 1992.

### **➤ Convenio de Estocolmo.**

Sobre contaminantes orgánicos persistentes, es un acuerdo mundial para proteger la salud humana y el medio ambiente de ciertos productos químicos que permanecen intactos en el medio ambiente por largos periodos de tiempo, son ampliamente distribuidos geográficamente y se acumulan en los tejidos grasos de los seres humanos y la vida silvestre. La exposición a contaminantes orgánicos persistentes (denominados COPs) puede provocar efectos en la salud, incluso ciertos tipos de cáncer, defectos de nacimiento, disfuncionalidades de los sistemas inmunológico y reproductivo, una mayor susceptibilidad a las

enfermedades e incluso la disminución de la inteligencia. Convenio de Estocolmo entro en vigor el 17 de mayo del 2004.

➤ **Protocolo de Montreal.**

Relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono adoptando medidas preventivas para controlar equitativamente el total de emisiones mundiales de las sustancias que la agotan, con el objetivo final de eliminar dichas emisiones. Protocolo de Montreal, en su forma ajustada y/o enmendada en Londres 1990, Copenhague 1992, Viena 1995, Montreal 1999 y Beijing 1999.

➤ **Convenio de Rotterdam.**

Tiene como objetivo el primer lugar promover las responsabilidades compartidas y los esfuerzos conjuntos de las partes en la esfera del comercio internacional de ciertos productos químicos peligrosos a fin de proteger la salud humana y el medio ambiente frente a posibles daños; en segundo lugar, contribuir a su utilización ambientalmente racional. Facilitando el intercambio de información acerca de sus características, estableciendo un proceso nacional de adopción de decisiones sobre su importación, exportación y difundiendo esas decisiones a las partes. Convenio de Rotterdam entró en vigor el 24 de mayo del 2004.

## **2. GENERALIDADES DE UN INCINERADOR DE DESECHOS ORGÁNICOS**

En la actualidad se cuentan como muchos tipos de plantas con este tipo de tecnología que a medida pasa el tiempo se tiene que ajustar a la necesidad del humano, de empezar de uno general ahora se encuentran diferentes tratamientos para desechos en específicos y para el manejo de sus gases como se verá en el apartado siguiente

### **2.1 HISTORIA DE LOS INCINERADORES**

Los incineradores, es considerada una solución y a su vez una problemática ya que reduce el volumen y la peligrosidad del subsuelo pero a su vez se convierte en una problemática por los gases que expulsa, aunque con el tiempo hasta la actualidad estos han ido mejorando en ese aspecto como se verá a continuación.

#### **2.1.1 PERSPECTIVA HISTÓRICA**

Uno de los primeros manejos de incineración de desechos fue el “carro de fuego”, siendo el primer incinerador móvil. Se trataba de un simple carro de madera rectangular protegido por un revestimiento de arcilla. El carro, tirado por un caballo, recorría las calles y permitía a los vecinos arrojar sus residuos a la hoguera móvil.

La generación de residuos sólidos es una problemática inherente a la actividad del ser humano, las formas en cómo se organizaron las sociedades pasadas caracterizó el tipo y cantidad de residuos que producían. Después de la revolución industrial a finales del siglo XVIII, nuevas formas de consumo aparecieron y con ello nuevas formas de residuos en altas cantidades.

(INCINEROX, 2017)

En 1874, en el Reino Unido (Londres), se construye la primera incineradora de residuos urbanos, siendo Alemania en 1893 quien construye una réplica del diseño del Reino Unido donde se revelaron lo que la historia muestra como un riesgo común y repetitivo: el impacto de las diferentes composiciones de los desechos. Sobre el rendimiento del proceso. Otra aplicación del procesamiento térmico se extiende mucho más allá de los desechos sólidos municipales para incluir biosólidos (sobre todo, lodo de depuradora), desechos industriales y médicos peligrosos y no peligrosos, y otros líquidos, residuos y gases tóxicos e inflamables donde la simple eliminación en el entorno físico es inaceptable.

El uso de la incineradora en Estados Unidos creció rápidamente al punto que para 1921 ya tenían 200 unidades siendo en la ciudad de New York donde se instaló la primera. La mayoría de ellas eran unidades de alimentación por lotes que funcionaban mal, algunas con recuperación de vapor. Hasta la década de 1950, las incineradoras, con el humo y los olores que conllevan, se consideraban un mal necesario y por lo general, su funcionamiento se realizaba de la forma más barata posible. Sin embargo, a medida que las chimeneas se fueron convirtiendo en un símbolo de prosperidad y empezaron a surgir normativas sobre la contaminación atmosférica, los sistemas de incineración mejoraron drásticamente. Estas mejoras incluían la alimentación continua, un mejor control de la combustión, el uso de múltiples cámaras de combustión, diseños para la recuperación de energía y la aplicación de sistemas de control de la contaminación atmosférica.

Los incineradores de residuos peligrosos no fueron regulados hasta la aprobación de la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos de 1976 (RCRA). En diciembre de 1978 se propusieron normas técnicas para la incineración en virtud del artículo 3004 de la RCRA. Estas normas establecían tanto requisitos de rendimiento como de funcionamiento. Durante el periodo de comentarios permitidos de las normas propuestas, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) recibió numerosos comentarios sobre el alcance de las normas y la idoneidad de la base de datos combinada de la EPA y la industria utilizada para establecer las normas.

Sobre la base de los comentarios del público, la EPA procedió posteriormente a una vía reglamentaria en tres fases:

- Fase I (19 de mayo de 1980). Se propusieron normas de estado provisional en las que se describían los procedimientos de funcionamiento que debían seguir las instalaciones de incineración existentes.

- Fase II (23 de enero de 1981). Se propusieron normas de rendimiento para nuevas instalaciones de incineración, que exigían niveles específicos de destrucción y eliminación de componentes orgánicos peligrosos, eliminación de HCl en los gases de escape y concentración máxima de emisiones de partículas.

- Fase III (24 de junio de 1982). Se publicaron normas definitivas provisionales tanto para las incineradoras nuevas como para las ya existentes, incorporando y modificando en cierta medida las disposiciones de las normas de la Fase I y la Fase II.

Las disposiciones de las normas definitivas sobre incineración, que son de gran importancia para este documento, son las normas de rendimiento que ahora figuran en el Código de Reglamentos F

ederales (CFR) bajo el título "40 CFR 264.343". Estas normas exigen que una instalación para recibir un permiso RCRA debe alcanzar los siguientes niveles de rendimiento.

- Eficiencia de destrucción y eliminación (DRE) del 99,99% para cada constituyente orgánico peligroso principal (POHC) en la alimentación de residuos.

- Eliminación de al menos el 99% del cloruro de hidrógeno de los gases de escape si las emisiones de cloruro de hidrógeno en la chimenea son superiores a 1,8 kg/h.

- Emisiones de partículas no superiores a 180 mg por metro cubico estándar corregidas al 7% de oxígeno en el gas de la chimenea.

La EPA comenzó a controlar las prácticas de incineración de residuos por primera vez en 1985 con la publicación de la normativa RCRA sobre el uso de aceites usados para la recuperación de energía. Esta norma proporciona una base para distinguir entre aceite usado y un residuo peligroso para fines de recuperación de energía y proporcionar una especificación. La EPA está elaborando una normativa que regulara la eliminación de residuos peligrosos en calderas industriales y otros hornos de procesos industriales. La propuesta de estas normas está prevista para 1987.

La aplicación de incineradores se ha extendido en otros países europeos como Francia, España, Suecia, Dinamarca, etc. así como en otros países como

Canadá y Japón. Datos presentados por la International Solid Waste Association (ISWA) en su congreso realizado en Madrid, España, en junio de 1992, indican que es en Japón donde existe el mayor número de plantas incineradoras, con 1893; le sigue Francia con 170; los Estados Unidos de América con 168.

### **2.1.2 PRACTICA ACTUAL DE LA INCINERACIÓN**

La incineración es una manera muy conocida y extendida de gestionar los residuos de diferentes clases que en la actualidad y con el tiempo el ser humano va generando con su consumo diario, que generan las empresas, mediante la destrucción o aprovechamiento energético: a lo que se le conoce como valorización energética.

A nivel mundial, la incineración se practica procurando la reducción de los volúmenes de residuos sólidos a ser dispuestos, ante los problemas con la disponibilidad de espacios, la reducción de la peligrosidad de los residuos, como es el caso de los desperdicios hospitalarios, y a su vez, procurando aprovechar la posibilidad de recuperar energía.

En Japón, el porcentaje de residuos sólidos incinerados llega hoy a un 80%. En Estados Unidos se ha empleado un incinerador móvil para descontaminar 40 toneladas de suelo de Missouri que habían sido contaminados con 4 libras de compuestos clorados de dioxina. Han salido muchos otros diseños de incineradores tanto móviles como estacionarios que también se están aplicando alrededor del mundo según la necesidad que se tenga.

En la actualidad ya se cuentan con distintos sistemas de combustión para incinerar desechos sólidos urbanos, como el sistema de parrilla móvil. de hornos

rotatorios y de lecho fluidizado que son los más comunes y que a su vez mas avances han tenido con respecto a controles, tratamiento de gases contaminantes, tecnológicos, etc. En Estados Unidos y Asia se usan también incineradores modulares, que queman los desechos sin procesarlos previamente. La tecnología de lecho fluidizado requiere que las partículas de desechos sean de determinado tamaño, lo que suele exigir cierto pretratamiento y una recolecta selectiva de los desechos. Las capacidades típicas de combustión de los incineradores de desechos sólidos urbanos son de 90 a 2,700 toneladas por día (configuraciones modulares: de 4 a 270 toneladas al día).

Se han desarrollado procesos por desacoplamiento de las etapas que también se llevan a cabo en una incineradora: secado, volatilización, pirolisis, carbonización y oxidación de los desechos. También se aplica la gasificación con agentes gasificantes como vapor, aire, óxidos de carbono u oxígeno. Estos procesos apuntan a disminuir los volúmenes de gases de combustión y los correspondientes costos de tratamiento. Muchas de estas innovaciones han presentado problemas técnicos y económicos al trasladarse al nivel comercial e industrial y, por lo tanto, no han tenido continuidad. Algunos sistemas se usan comercialmente y otros se están evaluando en plantas de demostración por toda Europa, pero, aun así, solo representan una pequeña parte de la capacidad total de tratamiento en comparación con la incineración.

### **2.1.3 PRÁCTICA DE LA INCINERACION EN EL SALVADOR**

Por otra parte, en El Salvador las capacidades nacionales para el tratamiento y la eliminación de las existencias de desechos conteniendo contaminantes orgánicos persistentes es limitada. Se encuentran solamente dos alternativas: a) el co-procesamiento en los hornos de cemento y b) la exportación de los desechos peligrosos para su eliminación en el marco del Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos y su Eliminación. (MARN, Ministerio de Medio Ambiente y Recurso Naturales, 2012)

El co-procesamiento es la utilización de las condiciones de alta temperatura del proceso (1400-2100 °C) de fabricación del Clinker en los hornos de cemento para lograr la transformación de los desechos peligrosos de manera segura, cumpliendo con las normas ambientales, tanto nacionales como internacionales.

Esta técnica refiere al uso de residuos y desechos en el proceso industrial de fabricación del Clinker para cemento. En algunos países, también se le ha llamado co-incineración, pero se ha preferido llamarlo «co-procesamiento», puesto que el objetivo principal no es la disposición final de residuos, sino la sustitución de combustible primario y materias primas por residuos y desechos. (MARN, Ministerio de Medio Ambiente y Recurso Naturales, 2012).

Tabla 2.1. Plan Nacional de Recuperación de Desechos Sólidos (2011) (MARN, Ministerio de Medio Ambiente y Recurso Naturales, 2012).

AÑO	AVANCE
1998	Creación de la Ley de Medio Ambiente
2000	Creación de Reglamento MIDS
2001	Programa Nacional de Recuperación de Plásticos
2001	Política Nacional de Desechos Sólidos
2007	Decreto Legislativo N°237: Disposiciones Transitarias sobre Tratamiento Integral de los Desechos Sólidos
2009	Creación de la Comisión Presidencial para el Manejo Integral de los Desechos Sólidos (MIDS) y la Unidad de Desechos Sólidos y Peligroso (UDSP)
2010	Creación del Programa Nacional para el Manejo Integral de Desechos Sólidos

En el caso particular de los hornos de fabricación de cemento del Grupo Holcim El Salvador, las mediciones obtenidas en los Protocolos de Co-procesamiento de Desechos Peligrosos han reportado la destrucción del 99.999999% de los contaminantes tóxicos de los desechos (UCA, 2006).

Actualmente Geocycle El Salvador, S. A. de C. V. y Holcim El Salvador, S. A. de C. V. poseen el permiso ambiental para la gestión de desechos peligrosos y el co-procesamiento en hornos cementeros. Ambas sociedades tienen sus instalaciones para el manejo de desechos peligrosos en el cantón Tecomapa, municipio de Metapán, departamento de Santa Ana (Resolución MARN No. R-7806-416/2007 y Resolución MARN N° R-7849-418/2007). Para garantizar que las emisiones generadas por el co-procesamiento no representen riesgos ambientales a la salud de la población, en el permiso ambiental (Resolución MARN N° R-7806-416/2007), se han establecido límites estrictos de emisión de materiales contaminantes. Estos valores están acordes a los máximos permitidos en la normativa de la Unión Europea y los Estados Unidos de América.

Las empresas generadoras y distribuidoras de energía: el Grupo AES El

Salvador, la Distribuidora de Electricidad DELSUR y la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL) cuentan con permisos ambientales para sitios de almacenamiento temporal de sus equipos y aceites contaminados. (MARN, Ministerio de Medio Ambiente y Recurso Naturales, 2012).

## **2.2 PROCESOS DE UN INCINERADOR.**

La incineración se utiliza como forma de tratamiento para una gran variedad de desechos. Por lo general, la incineración en si es solo una parte de un complejo sistema de tratamiento de desechos que, en conjunto, se encargan de la gestión total de la gran variedad de desechos que generan la sociedad (para un análisis de asuntos transectoriales relativos a la incineración y gestión de desechos).

El objetivo de la incineración de desechos es tratarlos para reducir su volumen y peligrosidad, capturando (y, por lo tanto, concentrado) o destruyendo al mismo tiempo sustancias potencialmente nocivas que se liberen, o puedan liberar, durante la incineración. Los procesos de incineración también pueden constituir una forma de recuperar el contenido energético, mineral o químico de los desechos.

Los incineradores están provistos de hornos de distintos tipos y tamaños y ofrecen distintas combinaciones de tratamiento pre y postcombustión. Además, hay bastante coincidencia entre los modelos recomendados para la incineración de desechos sólidos urbanos, desechos peligrosos o de lodos de alcantarillado.

Normalmente, las incineradoras están diseñadas para combustión oxidativa completa a temperaturas de 850°C a 1400°C. A estas temperaturas pueden darse también calcinaciones y fundiciones. La gasificación y la pirolisis constituyen

alternativas de tratamiento térmico que limitan la cantidad de aire de combustión primaria para convertir los desechos en gas de proceso, que puede utilizarse como materia prima química o puede incinerarse para recuperar energía. No obstante, en comparación con la incineración, la aplicación de estos sistemas es escasa y en algunas plantas se han registrado dificultades de funcionamiento.

Las plantas incineradoras de desechos pueden caracterizarse por los siguientes procesos: recepción de desechos, almacenamiento, pre tratamiento, incineración/recuperación de energía, depuración de gases de combustión, gestión de residuos sólidos, y tratamiento de aguas residuales. La forma de concebir y operar cada componente depende en gran medida de la naturaleza de los desechos.

Por lo general, los desechos con materiales muy heterogéneos, compuestos sobre todo de sustancias orgánicas, minerales, metales y agua. Durante la incineración se generan gases de combustión que contendrán la mayor parte de la energía combustible en forma de calor.

En la incineración oxidativa completa, los componentes principales del gas de combustión son vapor de agua, nitrógeno, dióxido de carbono y oxígeno. Según sea la composición del material incinerado, las condiciones de funcionamiento y el sistema de depuración de gases de combustión instalado, se emiten gases ácidos (óxido de azufre, óxido de nitrógeno, cloruro de hidrógeno) partículas (incluidos metales particulados), y una gran variedad de compuestos orgánicos volátiles (como mercurio). Asimismo, se ha demostrado que la incineración de desechos sólidos urbanos y desechos peligrosos genera y libera

involuntariamente contaminantes orgánicos persistentes (PCDD/PCDF, PCB, HCB); además tienen el potencial de liberar dibenzoparadioxinas polibromadas (PBDD) y dibenzofuranos (PBDF). Es normal que en plantas que tengan deficiencias de diseño u operación estas formaciones se eleven sustancialmente.

Según las temperaturas de combustión durante las etapas principales de la incineración, los metales volátiles y los compuestos inorgánicos se evaporan total o parcialmente. Estas sustancias se transfieren desde los desechos que ingresan hasta los gases de combustión y las cenizas volantes que contiene. Se generan cenizas volantes de los residuos minerales (polvo) y cenizas solidas más pesadas (cenizas de fondo). Las proporciones de residuos sólidos varían mucho según sea el tipo de desecho y el diseño específico del proceso.

Otras emisiones son residuos provenientes del tratamiento y depuración de gases de combustión, toras de filtros de tratamiento de aguas residuales, sales y liberación de sustancias en aguas residuales.

La forma de concebir y operar cada componente depende en gran medida de la naturaleza de los desechos, tal como se describió previamente.

La combustión es una reacción química de oxidación entre un combustible y un comburente, caracterizada por su gran exotermicidad y por las elevadas temperaturas a que se produce. El comportamiento cinético de la combustión de los residuos sólidos depende de su heterogeneidad y de la evolución de la temperatura.

Se debe considerar que los sólidos que se incineran están formados por una mezcla de partículas que difieren entre ellas en composición, en densidad, en

tamaño, en forma y en estructura. (Salvador & Universidad Complutense de Madrid, 2010).

En la figura 2.1, se presenta el esquema de proceso para la gestión de residuos sólidos por incineración.

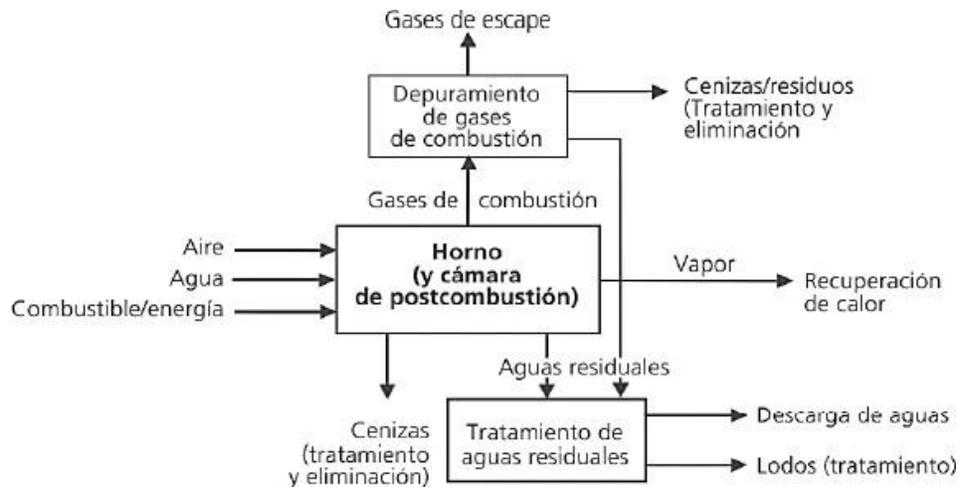


Figura 2.1. Esquema de flujo simplificado de una incineradora.

### 2.2.1 ALMACENAMIENTO Y RECEPCIÓN

Los desechos pueden llegar a la incineradora en camiones, barcazas o por tren. El reciclaje o los programas de separación de desechos previos a la entrega pueden influir enormemente en la eficacia del procesamiento. Por lo general, se almacena en fosas o contenedoras antes de su procesamiento.

### **2.2.2 PRETRATAMIENTO**

Eliminar vidrios y metales antes de la incineración aumentará el valor energético por unidad de desecho. No obstante, en algunas plantas se separan los metales de las cenizas de fondo después de la incineración. Reciclar papel, cartón y plástico reducirá el valor energético de los desechos, pero también puede reducir el cloro que contienen.

Separar los desechos voluminosos evita tener que eliminarlos o triturarlos en la planta. Además de la separación de desechos, el pretratamiento de desechos sólidos urbanos en bruto puede implicar la compactación y trituración para facilitar la manipulación y lograr más homogeneidad. (Convención de Estocolmo, 2008).

### **2.2.3 INCINERACIÓN/RECUPERACIÓN DE ENERGÍA**

En la incineración oxidativa completa, los componentes principales del gas de combustión son vapor de agua, nitrógeno, dióxido de carbono y oxígeno. Según sea la composición del material incinerado, las condiciones de funcionamiento y el sistema de depuración de gases de combustión instalado, se emiten gases ácidos (óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, cloruro de hidrógeno), partículas (incluidos metales particulados), y una gran variedad de compuestos orgánicos volátiles (como mercurio).

Asimismo, se ha demostrado que la incineración de desechos sólidos urbanos y desechos peligrosos genera y libera involuntariamente contaminantes orgánicos persistentes. Además, tiene el potencial de liberar dibenzoparadioxinas polibromadas (PBDD) y dibenzofuranos polibromadas (PBDF). Es normal que en plantas que tengan deficiencias de diseño u operación estas formaciones se

eleven sustancialmente.

Normalmente, las incineradoras están diseñadas para combustión oxidativa completa a temperaturas de 850°C a 1400°C. A estas temperaturas pueden darse también calcinaciones y fundiciones. La gasificación y la pirolisis constituyen alternativas de tratamiento térmico que limitan la cantidad de aire de combustión primaria para convertir los desechos en gas de proceso, que puede utilizarse como materia prima química o puede incinerarse para recuperar energía. No obstante, en comparación con la incineración, la aplicación de estos sistemas es escasa y en algunas plantas se han registrado dificultades de funcionamiento.

Para determinar si un residuo es adecuado para tratarlo en una instalación de incineración debe cumplir una serie de características. Las más significativas son las siguientes:

- Contenido de materia hidrocarbonada:

La reducción de volumen y de masa que experimenta un residuo en el proceso de incineración está directamente relacionado con el contenido de materia hidrocarbonada. Como consecuencia de la reacción de combustión el carbono y el hidrógeno se transforman el dióxido de carbono y agua:



- Poder calorífico:

El poder calorífico del residuo aporta la información que permite calcular la energía que puede obtenerse al aplicar la incineración como método para tratar los residuos y es el calor de combustión por unidad de masa de combustible. Se denomina poder calorífico inferior (PCI) cuando en el proceso de combustión se

considera que el agua formada está en fase vapor.

Es el parámetro que determina la energía que puede obtenerse por unidad de masa de residuos y el aumento de temperatura que tiene lugar en la combustión. En la tabla 1 se muestran valores del poder calorífico inferior de algunos residuos forestales, combustibles, biocombustibles, componentes de los residuos sólidos urbanos (RSU) y otros residuos sólidos.

Para que la combustión sea auto-sostenida, es decir, que el proceso de incineración no requiera combustible adicional para transformar la materia hidrocarbonada en dióxido de carbono y agua, es preciso que el poder calorífico inferior del residuo supere un valor límite.

Con estos requerimientos se puede aplicar la incineración tanto a residuos urbanos como a residuos industriales, lodos de depuradora, residuos hospitalarios o residuos agrícolas y forestales. Además de procesar materiales sólidos, puede aplicarse a compuestos gaseosos, líquidos y pastosos, o a sus mezclas. En todos ellos se encuentran residuos o fracciones de residuos con elevado contenido de materia orgánica y suficiente poder calorífico.

Tabla 2.2. Poder calorífico de residuos sólidos urbanos comunes, R.S.U.

Residuos Combustibles	PCI MJ/kg	Componentes de los RSU	PCI MJ/kg
Astilla de Pino (40% HUM)	11	Poliestireno y polietileno	48
Serrines y virutas (35%)	12	Policloruro de vinilo	19
Cortezas (40%)	13	Cuero	19
Podas de Frutales (20%)	14	Papel	17
Cáscara de Almendra (2%)	18	Madera	16
Hulla o Carbón mineral (2%)	29	Grasas	8
Lignito o Carbón mineral de menor PCI	20	R.S.U.	8 a 16

La elevada cantidad de residuos urbanos generados diariamente, el poder calorífico, el contenido de materia orgánica y las concentraciones de cloro y de metales pesados, son factores que permiten establecer la recuperación de energía y la reducción de volumen como objetivos y esperar problemas ambientales derivados del tratamiento por incineración.

Los residuos se deben almacenar en un recinto de la instalación que disponga de la capacidad necesaria para una operación continua. Como el residuo puede evolucionar desde su recepción hasta su incineración liberando sustancias potencialmente perjudiciales para la salud o el ambiente, la forma de almacenamiento está condicionada por el tipo de residuo y cantidad a tratar. En el caso de los residuos urbanos la recepción y almacenamiento se realiza en un foso en el que descargan los camiones de recogida.

Desde este foso, los residuos a incinerar se alimentan al horno mediante un sistema mecánico adaptado a su estado físico y grado de agregación.

#### **2.2.4 DEPURACIÓN DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN**

Los gases de combustión generados en el horno atraviesan una caldera en la que se produce el intercambio de calor. La elevada temperatura de estos gases permite generar vapor a alta presión para obtener energía mediante una turbina de vapor o simplemente para calentar el agua. Cuando los gases de combustión se ponen en contacto con los tubos de la caldera se produce un descenso de su temperatura hasta valores inferiores a 200°C.

Dentro del intervalo comprendido entre los 400°C y los 200°C se produce la formación de las denominadas dioxinas “de novo”, siempre que en la corriente de gases estén presentes sus constituyentes (compuestos clorados, compuestos orgánicos, monóxido de carbono, partículas, metales) y el tiempo de permanencia sea suficientemente elevado; el proceso de formación se favorece si existen núcleos de retención y catalizadores. Como todos estos ingredientes están presentes, en mayor o menor medida en los gases formados en el proceso de incineración, la rapidez con que se produce el descenso de temperatura es la principal variable de operación para dificultar la formación de estos contaminantes.

Una parte de las cenizas volantes arrastradas por la corriente de gas quedan adheridas a los tubos de la caldera y empeoran el intercambio de calor entre gases y agua por lo que es necesario disponer de métodos capaces de eliminarlas continuamente, de modo que la propia caldera actúa también como equipo de

retención de partículas. Las diferentes secciones de la caldera se diseñan para que las velocidades de los gases minimicen la erosión, la corrosión y la retención.

Las condiciones del vapor deben permitir que la corrosión en la caldera sea mínima y que el rendimiento de conversión de energía en el turbo grupo sea elevado. El rendimiento energético que se logra en una incineradora de residuos que tengan un poder calorífico superior a 13 MJ/kg puede oscilar entre el 20 y el 30%.

Las emisiones gaseosas están consideradas como la principal fuente de contaminación potencial que existe en una incineradora. Los agentes contaminantes que pueden encontrarse en los gases de combustión son los compuestos de cloro, los de flúor, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, sustancias orgánicas, partículas, metales pesados y dioxinas y furanos.

Los controles establecidos en los documentos legales de los diferentes Estados y Organismos supranacionales pretenden, en función del estado de la técnica, hacer compatible la posible contaminación originada en el entorno de estas instalaciones con los beneficios que presenta la eliminación de los residuos por incineración.

La normativa de incineración ha evolucionado con el tiempo, varía con los países e incluso con el tipo de residuo. En El Salvador existe una normativa legal regida por las disposiciones del convenio de Estocolmo que comenzó en el año 2001, dicho convenio tiene seguimiento y proporciona información y lineamientos sobre eliminación de contaminantes orgánicos persistentes (COP) procedentes

del proceso de incineración o por co-incineración. (MARN, Centro de Información y Documentación, 2019).

### 2.3 PARTES DE UN INCINERADOR

Un incinerador está conformado por diferentes elementos y diferentes subsistemas que al unirlos estos realizan una serie de procesos precisos, para cumplir esto necesita de muchos controles y muchos cuidados; más allá de las diferencias entre los distintos tipos de incineradores, existen una serie de componentes físicos, mecánicos y subsistemas comunes entre todos los incineradores.

#### 2.3.1 Partes físicas de un incinerador.

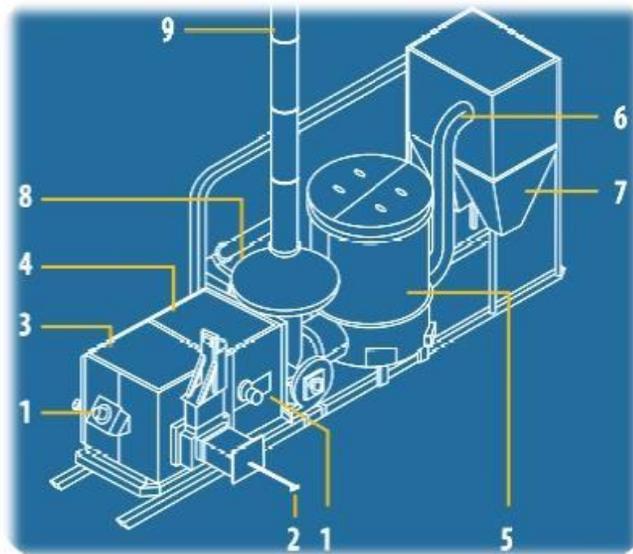


Figura 2.2. Partes de un incinerador

En la figura 2.2 podemos ver cómo está compuesto un incinerador de desechos orgánicos y ver los diferentes elementos que se describen a continuación.

### ➤ Quemadores y tableros de control.

Para el quemador de la cámara primaria se tiene que tomar en cuenta estos puntos de interés a la hora de su selección:

- Estabilidad de la llama.
- Evaporación y quemado de gotas (gasoil y fuel oil).
- Mezclado de aire y combustible.
- Largo de la llama.
- Radiación.
- Emisión de contaminantes, particularmente NOx y humo/hollín.

Estos tipos de quemadores de alta velocidad tienen como principal funcionamiento de transmitir el calor de la combustión bajo la forma de chorro gaseoso de alta energía cinética. De esta forma se puede obtener un intercambio de calor por convección muy elevado y una agitación energética, de la atmosfera del recinto en donde se pretende calentar, de forma homogénea.

Realizado el balance energético de las cámaras y determinada la cantidad de combustible necesario, se seleccionan los quemadores más adecuados.

Los quemadores deberán ser colocados por encima del nivel máximo de ceniza que se acumule en la primera cámara del incinerador, así como del nivel máximo de carga que sea introducida en el mismo.

El quemador debe de contar con:

- Un dispositivo de mezcla del combustible y comburente.
- Una cámara de combustión (tobera).
- Un orificio de salida de los productos de la combustión ya completada

que produce el chorro (final de tobera).

En la cámara secundaria se necesitará un segundo quemador de menor capacidad con el objetivo de aumentar la temperatura de 800 °C a 1200°C, con esto se logrará eliminar en los gases de combustión los contaminantes que se generan por la quema de residuos.

Todo quemador debe contar con los siguientes parámetros:

- Control eléctrico de velocidad.
- Sistema electrónico de regulación.
- Combustión con bajos niveles de contaminación.
- Ventilador incorporado.
- Carcasas de dos cuerpos.

En el tablero de control se encuentran los mandos para activar los distintos componentes eléctricos del incinerador, consta mayormente de: interruptor general, interruptor de los quemadores, indicador de temperatura, contactores, relés térmicos, transformadores, luces pilotos y temporizadores.

➤ **Sistema de alimentación mecánica de accionamiento manual o automático.**

Para las plantas que reciben desechos sólidos urbanos heterogéneos, es indispensable lograr una buena mezcla y cargar adecuadamente las tolvas de alimentación. Los operadores de grúas de carga deben ser experimentados y estar en condiciones de poder seleccionar la mezcla de tipos de desechos adecuada para mantener al incinerador funcionando con un rendimiento óptimo.

➤ **Cámara de combustión diseñada para la carga térmica apropiada.**

También conocida como cámara de combustión, cámara primaria o cámara de encendido, recibe el residuo y comienza la combustión en condiciones de diferencia de oxígeno. Es decir, trabaja con menos oxígeno de lo necesario, por lo que se produce la pirolisis. La limitación de aire en la cámara primaria previene la rápida combustión y permite condiciones de “tranquilidad” en la cámara, o sea: tiempo para que se quemé el residuo. Estas condiciones evitan que partículas de material pasen a la cámara secundaria y que de esta manera sea emitido a la atmósfera.

La cámara principal se construye de acero, con resistencia a altas temperaturas, esta cámara se encuentra revestida con ladrillos refractarios, cuya finalidad es la de retener el calor producido por los quemadores, la temperatura mínima de la cámara primaria para incineradores de desechos sólidos debe ser 850 °C.

En la cámara primaria ocurren principalmente tres procesos:

- El residuo ingresado se volatiliza.
- La fracción volátil del residuo se vaporiza y pasa a la cámara secundaria.
- El remanente es quemado y reducido a cenizas.

### ➤ **Cámara de postcombustión.**

Se le llama también cámara secundaria, esta recibe los gases que generaron los combustibles volátiles de la cámara primaria. Las condiciones de combustión son reguladas para tener aire en exceso y asegurar la completa combustión del residuo antes de su eliminación. La cámara secundaria es de menor tamaño que la primaria, se construye de acero y se reviste con material refractario que resiste mayores temperaturas en comparación con la cámara primaria.

Las condiciones necesarias para lograr alta eficiencia en la cámara secundaria son:

- Altas temperaturas ( $\pm 1,200$  °C, mínimo  $1,300$  °C).
- Exceso de aire (100%).
- Turbulencia (alto tiempo de residencia, mínimo 2 segundos).

El exceso de aire en la cámara secundaria debe ser suficiente como para mantener el rango de temperatura deseado. Considerando que a medida que se incrementan los niveles de oxígenos, la temperatura en la cámara secundaria descende.

El cuerpo principal de un incinerador es el conjunto de las cámaras de combustión primaria y secundaria y los componentes necesarios para realizar el proceso de combustión, en él se encuentran instalados los quemadores, el tablero de control, así como la compuerta de ingresos de desechos a incinerar y la compuerta para extracción de cenizas, se construye de acero resistente a altas temperaturas y se ancla a la cimentación.

➤ **Intercambiador de calor.**

El intercambiador de calor es un dispositivo que tiene por finalidad transferir calor de un medio a otro. Esta transferencia de calor se realiza a través de unas placas metálicas o tubos que favorecen el intercambio entre fluidos sin que estos lleguen a mezclarse.

Existen dos tipos principales de intercambio de calor, siendo cambio directo e indirecto.

Un intercambiador de calor directo puede dar como ejemplo el funcionamiento de una torre de refrigeración, el agua se enfría a través del contacto directo con el aire.

Un intercambiador de calor indirecto es cuando los dos medios están separados por una pared (metálica) a través del cual se lleva a cabo la transferencia de calor entre ambos medios. Suelen ser intercambiadores de placas, carcasas o tubos.

➤ **Agente neutralizante de gases ácidos.**

Los depuradores húmedos son los más eficientes para la eliminación de gases ácidos solubles entre las técnicas probadas en que el pH del agua del depurador es indicativo de la eficiencia de eliminación. Las partículas sólidas del agua depurador también pueden generar interacción con PCDD/PCDF en la corriente de gas, influyendo así en la fiabilidad de las relaciones entre los resultados obtenidos del monitoreo de los gases de chimenea y el rendimiento efectivo de la planta.

El desempolvado previo del flujo de gas puede ser necesario para evitar obstrucciones del depurador, a no ser que se tenga la suficiente capacidad.

El uso de materiales impregnados de carbón, carbón activado o coque en los materiales del empaquetado del depurador puede llegar a reducir en un 70% los PCDD/PCDF del depurador, aunque puede que no se refleje en las emisiones totales.

Están también los secadores por pulverización (depuración semi-húmeda) también poseen gran eficiencia de eliminación, con la ventaja de no requerir un tratamiento posterior de los efluentes. Además de los reactivos alcalinos agregados para eliminar gas ácido, la inyección de carbón activado también es eficaz en la eliminación de PCDD/PCDF, así como de mercurio. Además, los sistemas de depuración mediante secado por pulverización obtienen habitualmente un control de 93% de  $SO_2$  y 98% de HCl.

Los secadores por pulverización, como se mencionó anteriormente, suelen aplicarse antes que los filtros de tela. Los filtros se encargan de la captura de reactivos y productos de reacción además de proporcionar una superficie reactiva adicional sobre la torta de filtro.

La temperatura de entrada a los filtros de tela en estas combinaciones es importante. Normalmente se precisan temperaturas superiores a 130°C – 140°C para evitar la condensación y corrosión de las mangas.

Con respecto a la eliminación de gas ácido, los sistemas de depuración seca no pueden lograr la eficiencia de los depuradores húmedos o semi-húmedos (secado por pulverización) sin aumentar significativamente la cantidad de

reactivo/sorbente. El aumento en el uso de los reactivos incrementa el volumen de cenizas volantes.

➤ **Filtro de mangas. (talegas)**

La eliminación de polvo adicional puede ser conveniente antes de enviar los gases de combustión depurados a la chimenea. En las técnicas para refinar los gases de combustión se emplean filtros de tela, precipitadores electrostáticos húmedos y depuradores tipo Venturi.

La filtración doble (filtros en serie) puede lograr habitualmente eficiencias de recolección de polvo de 1 *mg* o menos.

Las ventajas adicionales de estas técnicas pueden ser escasas, y poca la rentabilidad, si ya se aplican técnicas efectivas al inicio del proceso.

Donde el refinamiento de los gases de combustión puede tener más utilidad es en plantas de gran tamaño y en la depuración a fondo de flujos de gas antes de reacciones catalíticas selectivas.

La adsorción puede realizarse mediante la inyección de carbón activado, en lechos estáticos o con materiales impregnados de carbón.

➤ **Absorbente de dioxinas, furanos y metales pesados.**

Aunque la función primaria de una reacción catalítica selectiva es reducir las emisiones de *NO<sub>x</sub>*, esta técnica también puede destruir sustancias del anexo C en fase gaseosa con una eficiencia de 98-99.5%.

Los gases de combustión pueden requerir recalentamiento a los 250°C – 400°C necesarios para el funcionamiento apropiado del catalizador.

El desempeño de los sistemas de reacción catalítica selectiva es mejor con

un refinamiento de los gases de combustión en los procesos previos. Estos sistemas se instalan después del desempolvamiento y de la eliminación de gases ácidos.

Los notables costos (de capital y energía) de la reacción catalítica selectiva pueden ser solventados con más facilidad por instalaciones grandes, que tienen mayor flujo y economía de escala.

➤ **Chimenea.**

Es un sistema utilizado para evacuar los gases resultados de la incineración de los desechos, es de acero en forma cilíndrica y posee recubrimiento en su interior, según la capacidad del incinerador así serán las dimensiones de la chimenea (altura y diámetro).

### **2.3.2 SUBSISTEMA DE UN INCINERADOR**

Todos los incinerados sin importar de que tipo mantienen por igual los siguientes subsistemas:

- Preparación y alimentación de los residuos
- Cámara(s) de combustión
- Tratamiento de emisiones gaseosas
- Manejo de residuos sólidos y efluentes.

➤ **Preparación y almacenamiento de los residuos**

Cajón alimentador. Es la forma física del residuo la que determina el método de alimentación. Los líquidos son mezclados y bombeados a la cámara de combustión previa atomización mediante toberas. En caso de contener sólidos en suspensión se deben filtrar previamente o ajustar los atomizadores.

Los diferentes residuos líquidos se suelen mezclar previamente (blending) de forma de obtener un poder calorífico del orden de los 8000 Btu/lb, viscosidad adecuada, así como para no superar niveles de concentración de contaminantes como cloro y sulfuro entre otros.

➤ **Cámara(s) de combustión**

La forma física del residuo y su contenido de cenizas determina el tipo de cámara de combustión a ser utilizado.

Cámara de Oxidación: Es el espacio físico en donde se inyecta el aire necesario para completar la combustión, además su forma y distribución del aire, crea la turbulencia requerida en los sistemas para una eficiente combustión.

➤ **Tratamiento de las emisiones gaseosas**

A efectos de cumplir con los estándares de emisión que se manejan a nivel internacional, los incineradores deben contar con sofisticados sistemas de tratamiento de emisiones gaseosas y el correspondiente sistema de control. El sistema de tratamiento y control de emisiones constituye uno de los elementos clave en las plantas de incineración, siendo uno de los componentes mayoritarios del costo total (aproximadamente entre la mitad y un tercio del costo, dependiendo de la escala).

Los constituyentes de los residuos, las condiciones de operación y el sistema de tratamiento de emisiones utilizado son los que determinan el tipo de sustancias y la concentración en los gases que se emiten a la atmósfera. Por ejemplo, los niveles de ácido clorhídrico y dióxido de azufre emitidos están directamente relacionados con el contenido de cloruros y sulfuros de los residuos.

Adicionalmente el contenido de cloro en los residuos contribuye a la formación de dioxinas y furanos.

Los sistemas de tratamiento deben garantizar la remoción de contaminantes tales como el ácido clorhídrico originado por la presencia de cloro en los residuos, cenizas volantes de muy pequeño diámetro (menores de 1 micra) y óxidos de azufre entre otros.

Los sistemas de tratamiento de emisiones más comunes cuentan con:

- Un enfriador para el acondicionamiento térmico de los gases.
- Un lavador Venturi para la remoción de partículas.
- Una torre de absorción para la remoción de ácidos
- Un eliminador de nieblas.

El rápido enfriamiento, a temperaturas por debajo de los 100 °C, reduce el tiempo de residencia de los gases de combustión en zonas de temperatura que pueden dar lugar a la síntesis de dioxinas y furanos.

Los lavadores Venturi inyectan en forma atomizada agua o una solución de soda la que arrastra las partículas y parte de los gases absorbibles. Simultáneamente en estas unidades se produce otra caída de la temperatura de los gases. Las torres de adsorción funcionan con la recirculación de una solución en contracorriente con el flujo de gas.

Las unidades cuentan generalmente con otros elementos de control como son los precipitadores electrostáticos húmedos, lavadores húmedos ionizantes, filtros de mangas y ciclones. La remoción de dioxinas y furanos, así como posibles restos de mercurio residual, se realiza mediante filtros contenido mezclas

adsorbentes.

Las emisiones gaseosas son emitidas a la atmosfera por medio de chimeneas, las cuales se diseñan de modo que no exista contaminación atmosférica significativa a nivel de suelo, protegiendo así la salud humana y el medio ambiente.

Las instalaciones deben contar con medidores que permitan el monitoreo continuo de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxidos de azufre, ácidos clorhídricos, compuestos orgánicos volátiles y materiales particulados. Adicionalmente se deben realizar monitoreos periódicos de metales pesados, dioxinas y furanos.

➤ **Manejo de residuos sólidos y efluentes.**

En el proceso de incineración se generan residuos, básicamente compuestos inorgánicos, que salen del sistema como cenizas de fondo de la cámara de combustión, solidos separados en el sistema de tratamiento de gases y pequeñas cantidades que pueden permanecer en la corriente gaseosa dependiendo de la eficiencia del tratamiento utilizado.

Las cenizas de fondo son enfriadas y almacenadas para disposición en rellenos seguridad, siendo en algunas ocasiones sometidas a algún tipo de tratamiento previo como la estabilización – solidificación.

Los líquidos generados en el sistema de tratamiento de emisiones gaseosas son sometidos a un tratamiento fisicoquímico, eventualmente recirculados, y evacuados. Los lodos separados son pre tratados y dispuestos en rellenos de seguridad. En la figura 2.3 se puede ver el orden que llevan los subsistemas para

poder obtener una planta incineradora de desechos orgánicos.

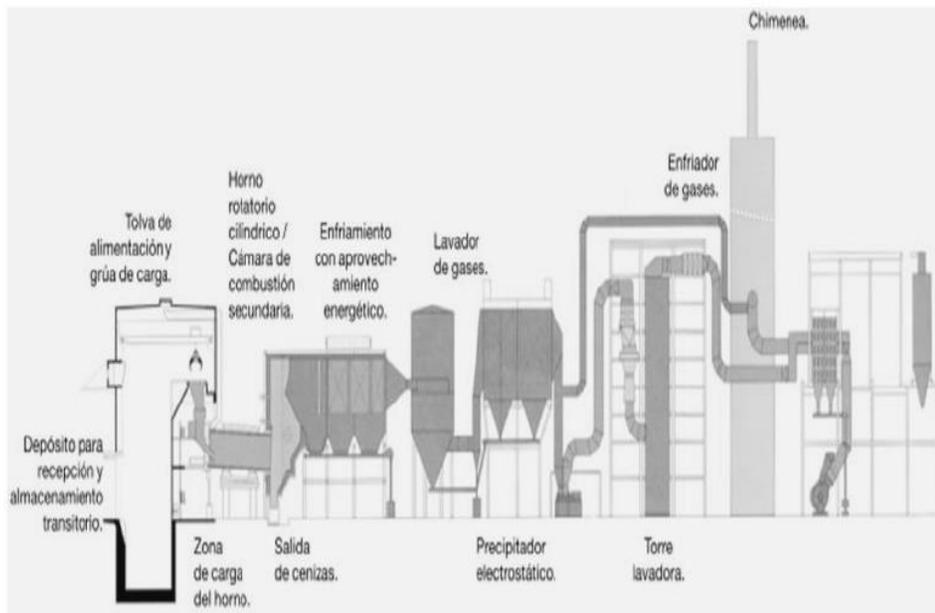


Figura 2.3. Esquema general de una planta incineradora.

## 2.4 TIPO DE INCINERADORES

Los incineradores están provistos de hornos de distintos tipos y tamaños, y ofrecen distintas combinaciones de tratamiento pre y postcombustión. Además, hay bastante coincidencia entre los modelos recomendados para la incineración de desechos sólidos urbanos, desechos peligrosos o de lodos de alcantarillado.

Una instalación industrial destinada a la incineración de residuos sólidos debe ser capaz de lograr los siguientes objetivos:

- Buen contacto entre el sólido y el aire para que pueda alcanzarse la temperatura de combustión y la transformación de los reactantes en los productos de reacción. Las velocidades de transferencia de materia y de transmisión de calor se efectúan a velocidad elevada cuando se opera con velocidades relativas del aire con respecto del sólido.

- Distribución de tiempos de residencia apropiada para conseguir la transformación completa de los reactivos. Todos los sólidos deben estar en el horno un tiempo mayor o igual que el necesario para la conversión completa. Este tiempo depende de las variables del modelo cinético gas-sólido que describa el proceso. Cuando se logran rendimientos elevados se evita que salgan del horno compuestos inquemados tanto con la fase gas como con la fase sólida. De esta manera se consigue, además de aumentar el rendimiento energético del proceso, disminuir la emisión de contaminantes en el propio lugar donde se generan, con las ventajas que significa a la hora de depurar la corriente de gases a evacuar.
- Eliminación de cenizas y escorias para evitar que la fracción no combustible se acumule en el interior del horno. Es preciso extraerlas continuamente, si es continuo, o antes de cada operación, si es por cargas. Cuando el horno contiene un material inerte, como arena, al eliminar la ceniza se elimina también una parte del inerte y una fracción de la alimentación que no ha estado suficiente tiempo para quemarse completamente.
- La distribución de temperaturas en el horno debe permitir que el sólido alimentado vaya alcanzando los sucesivos valores que se requieren para que transcurran los distintos procesos que experimentan los residuos en su combustión. Pero, además de los fenómenos deseados, se pueden producir otros que causan problemas de operación.

El máximo aumento de temperatura que puede alcanzarse en el horno

depende del poder calorífico del residuo y de la relación aire/combustible que se alimente. Para un determinado valor de poder calorífico, la estequiometría de la combustión permite seleccionar el exceso de oxígeno para asegurar la combustión completa y evitar que la temperatura de combustión, conocida como combustión fría, sea baja.

Dadas las dificultades que presenta el control del movimiento de los sólidos en el horno, la heterogeneidad de la alimentación y el campo de temperaturas que se establece es necesario operar de modo que no se produzca una evolución desfavorable de las escorias en su interior y evitar la abrasión de los materiales refractarios del horno.

Los principales factores que se utilizan para conocer el comportamiento de los hornos son:

- Calidad de la incineración: Fracción de compuestos inquemados en los gases y en las escorias y cenizas de hogar (en estos sólidos, el contenido en carbono orgánico total debe ser inferior al 3%).
- Adaptación a las características cambiantes del residuo: poder calorífico, humedad, contenido en cenizas.
- Facilidad de operación: Elementos móviles, puesta en marcha y parada, paredes del horno.
- Prevención y retención en origen de contaminantes: óxidos de nitrógeno, introducción de reactivos.
- Consumo energético: Necesidades energéticas para su funcionamiento.
- Contaminantes en la corriente de gases de escape: Técnicas de

depuración, sistema de recuperación de energía.

Existen varios tipos y diseños de incineradores desarrollados para el tratamiento de los diferentes residuos, contemplando en particular el estado físico de los mismos. Actualmente existe una considerable experiencia a nivel de los fabricantes y muchos de estos diseños han sido ampliamente utilizados hace varios años, dentro de los tipos más comunes son:

- Hornos de parrilla, fijos, móviles, longitudinales, transversales y rodillos.
- Hornos de lecho fluidizado.
- Horno rotatorio.
- Inyección líquida.

#### **2.4.1 HORNO DE PARRILLA, FIJA, MOVIL, LONGITUDINAL, TRANSVERSAL Y RODILLOS**

La función de la parrilla es transportar el residuo a través del horno. Dicho movimiento favorece la combustión de Residuos, aunque también incrementa el contenido de partículas en el flujo gaseoso de salida en la figura 2.4 se puede observar un esquema de cómo son este tipo de hornos y continuación se describen los tipos de residuos para el cual es diseñado y sus características.

##### **Residuos:**

- Residuos municipales mezclados, residuos de origen comercial e industrial, lodos de alcantarillado (previamente secados), sin separación previa.
- Adecuado para residuos grandes e irregulares.
- Algunos tipos de residuos peligrosos y hospitalarios.
- Posibilidad de incineración de gases.

### Características:

Las parrillas son metálicas, refrigeradas por aire o agua, con una inclinación aproximadamente menor que  $25^\circ$ . Se inyecta el aire primario por la parte inferior, en un exceso aproximado del 100%. La velocidad del aire es alta, se produce arrastre de partículas. El tiempo de residencia del sólido combustible es constante. El costo de mantenimiento es elevado.

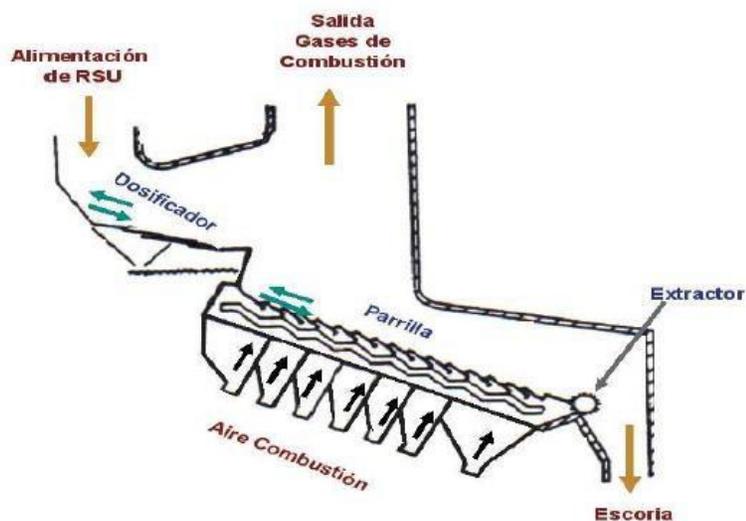


Figura 2.4. Horno de parrilla.

### 2.4.2 HORNO DE LECHO FLUIDIZADO

Horno de lecho fluido. Típicamente se emplean para la combustión de combustibles fósiles o residuos no urbanos (p. ej. astillas de madera). No se emplea normalmente para la incineración de residuos urbanos ya que estos tienen que ser procesados previamente. Este método se basa en la transmisión de calor entre un material inerte, normalmente arena de sílice y el combustible.

Como se puede ver en la figura 2.5 el sistema consta de un cilindro vertical de acero revestido de material refractario, un lecho de arena, una rejilla de apoyo,

toberas para inyección de aire a presión y quemadores. Mediante la inyección de aire se fluidifica el lecho de arena. A través de quemadores que utilizan combustible auxiliar se calienta la arena hasta la temperatura de operación y se inicia la carga de los residuos. Los residuos se incineran, y a partir de este momento se corta el suministro de combustible auxiliar.

Esto permite un buen mezclado con el exceso de aire alcanzándose temperaturas de alrededor de 900°C, con una eficiencia térmica superior a la de los hornos rotatorios. Los gases de combustión pasan luego a una segunda cámara para completar el proceso de incineración.

**Residuos que permite:**

- Lodos de alcantarillado, fangos, carbón, lignito, biomasa y otros.
- Permite la incineración de combustibles de bajo Poder Calorífico Inferior.

**Características:**

- Empleo de un ciclón para la recirculación del material inerte (arena o alúmina).
- Temperatura en la zona libre sobre el lecho: 850 – 950°C. Alto grado de uniformidad de temperaturas. Alta tasa transferencia de calor.
- Temperatura en la zona de postcombustión: 980 – 1400 °C.
- Tiempo de residencia: hasta 2,5 s. (de 1 a 5s)
- Inyección de aire primario por la parte inferior del lecho.
- Introducción de aire secundario precalentado.
- El residuo sólido (y la alúmina o arena recirculadas), se introducen por la parte superior del lecho

### **Ventajas:**

- Temperaturas sensiblemente inferiores, se evita fusión de cenizas, se reduce erosión y corrosión.
- Mejor transmisión de calor.
- Instalaciones más compactas.
- Empleo de mezclas heterogéneas de combustible.

### **Inconvenientes:**

- Necesidad de una trituración previa de los residuos.
- La recirculación del material provoca una abrasión sobre los refractarios.
- Corrosión.



Figura 2.5. Lechos fluidizados burbujeantes a la izquierda y Lechos fluidizados burbujeantes a la derecha.

### 2.4.3 HORNO ROTATORIO

Los incineradores de horno rotatorio como se puede observar en la figura 2.6, cuenta con cámaras cilíndricas recubiertas de refractarios, que cuentan con una leve inclinación horizontal y rotan a una velocidad. Este diseño permite que los residuos que ingresan por un extremo se desplacen mezclándose a través del horno, hasta ser descargados en el otro extremo. Cuentan con un quemador, ubicado del lado de la alimentación, que utiliza combustibles o residuos líquidos de alto poder calorífico.

El tiempo de retención de los sólidos es de alrededor de una hora y el mismo está determinado por la inclinación, la velocidad de rotación y el largo de la cámara.

En esta cámara se produce la gasificación de los residuos por medio de la volatilización y la combustión parcial de los componentes, por lo que es necesaria una segunda cámara de postcombustión. Esta segunda cámara es similar a la de los incineradores de inyección líquida y cuenta con quemadores que utilizan combustibles auxiliares o residuos líquidos de alto poder calorífico, de forma de elevar y mantener la temperatura durante el tiempo necesario.

Las temperaturas de operación típicas están en los rangos de 650 a 1250 °C y 850 a 1600.°C en la primera y segunda cámara respectivamente. El tiempo de estadía de los gases es de 1 a 3 segundos en la cámara secundaria. La capacidad de procesamiento de estas unidades está en el rango de las 10 a 350 ton/día.

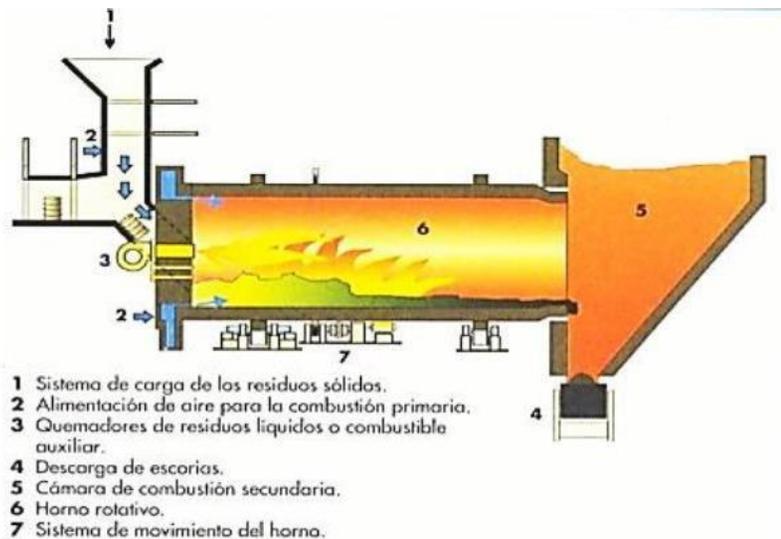


Figura 2.6. Horno rotatorio.

#### 2.4.4 INYECCIÓN LIQUIDA

El incinerador de inyección líquida se utilizan exclusivamente para líquidos bombeables. Se trata de cámaras de combustión consistente en cilindros revestidos de ladrillos refractarios, que pueden ser verticales u horizontales y contar con uno o más quemadores. El diseño de los quemadores resulta ser uno de los factores más críticos para lograr elevadas eficiencias de destrucción.

Las temperaturas de operación están en el rango de 1000 a 1600 °C y los tiempos de residencia entre 1.5 y 2 segundos. En la figura 2.7 se presenta un esquema de este tipo de cámara.

#### Residuos:

- Residuos líquidos que se pueden bombear.
- Poca viscosidad.
- Bajo potencial de polimerización.
- Escasa corrosividad.
- Exentos de material en suspensión que obstruya las boquillas.

### Características:

- Cilindros horizontales o verticales.
- Paredes recubiertas de refractarios.
- Equipados con uno o más quemadores.
- Necesidad de combustible auxiliar.
- Equipados con atomizadores (diam. <math>< 2\mu\text{m}</math>).
- Presión mecánica.
- Atomización con vapor/aire comprimido.
- Atomización externa.
- Temperatura de 1000 – 1700 °C.
- Tiempo de residencia, hasta 2.5 s.

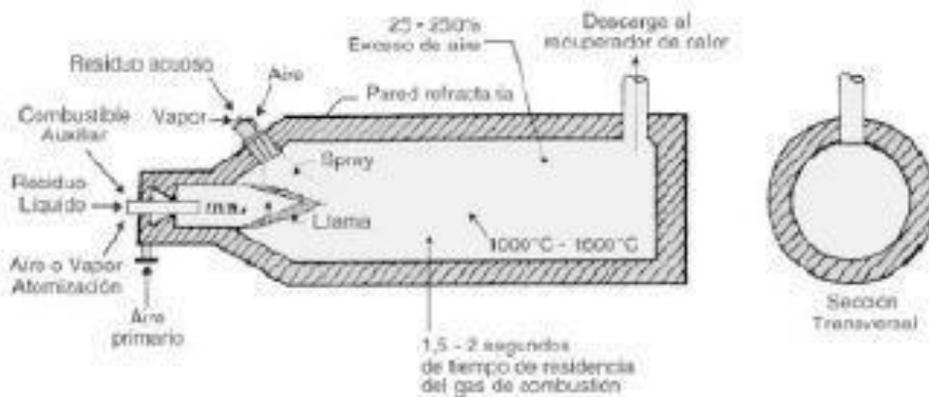


Figura 2.7. Horno incinerador por inyección líquida.

## **2.5 SELECCIÓN DE INCINERADOR A DISEÑAR.**

La selección de un tipo de horno depende principalmente no solo del tipo o tipos de desechos que se van a incinerar (lo que también determina los posibles métodos de alimentación). Sino también de muchos otros factores, como la capacidad de la planta, el programa operativo requerido, recuperación de calor, la cantidad de ceniza a manipular, así como su naturaleza fisicoquímica y punto de reblandecimiento, etc.

Después de investigar los diferentes tipos de incinerador existentes, se seleccionó el diseño general de un incinerador tipo parrilla móvil, siendo este el más apropiado para la incineración en las condiciones presentes de los residuos urbanos que se generan en El Salvador, por los siguientes motivos:

- La basura que se genera son residuos sólidos orgánicos, es decir, residuos de comida, plásticos y papel. El rango de temperatura de estos hornos se encuentra entre 900 °C a 1100 °C, que es la temperatura suficiente para llevar a cabo la combustión completa de dichos residuos.

- En términos económicos, resulta que la construcción de este tipo de horno es más barata respecto a los demás tipos de incineradores.

- El incinerador tipo parrilla es capaz de controlar la emisión de gases contaminantes mediante filtros, esto para respetar y salvaguardar las condiciones de vida humana y del planeta, según las normativas y convenios medioambientales internacionales (Convención de Estocolmo, 2019).

### 3 PROPUESTA DE DISEÑO DE UN INCINERADOR DE PARRILLA MOVIL

#### 3.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

Como se mencionó en el capítulo anterior el incinerador de desechos sólidos seleccionado es el de tipo parilla móvil del cual en este capítulo se llevará a cabo el diseño de este, definiendo las condiciones y parámetros necesarios, del cual en la figura 3.1. se muestra un esquema de cómo están conformado y del cual nos basaremos para su diseño.

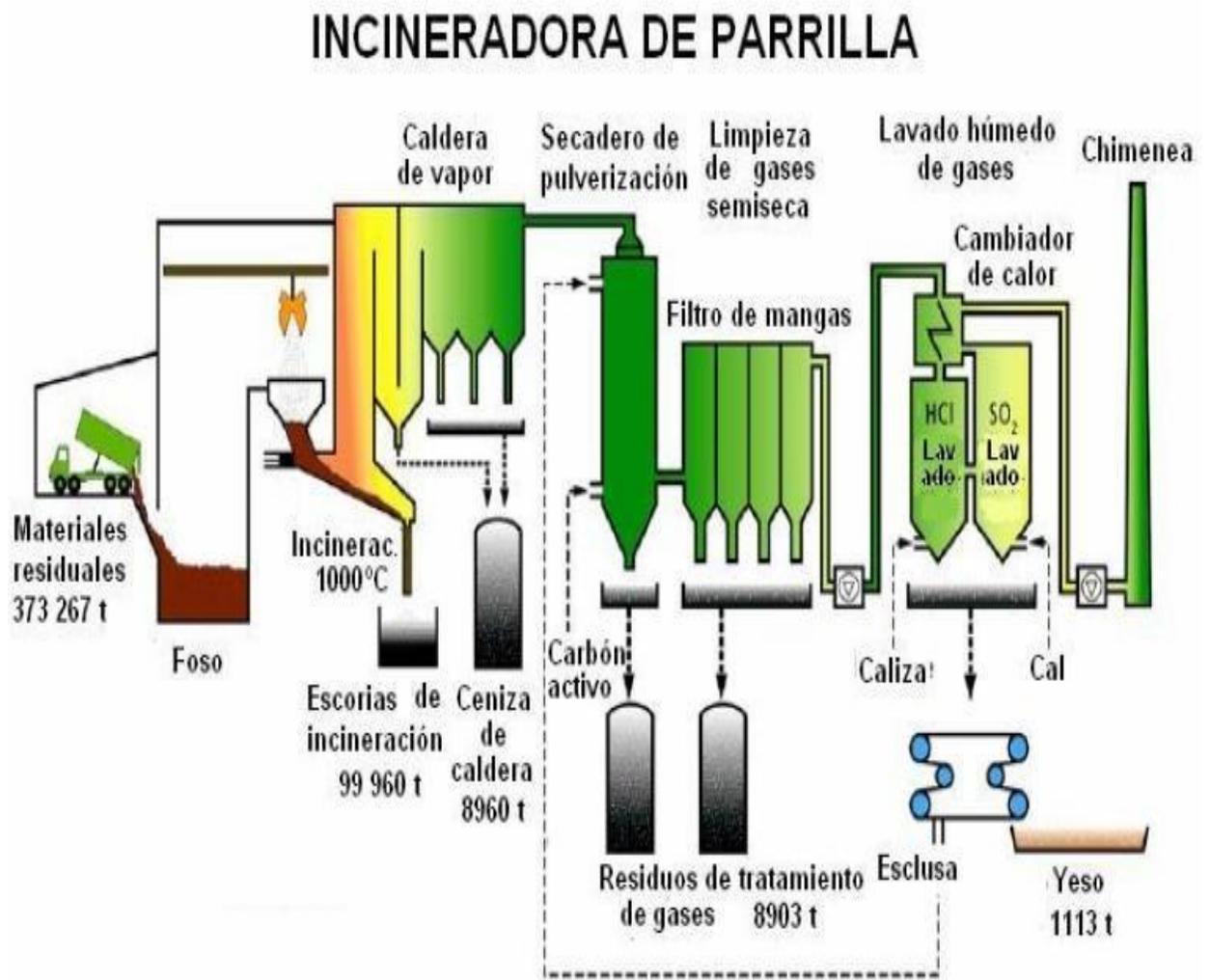


Figura 3.1. Esquema general de incineración de basura.

A continuación, se presentan algunos parámetros y condiciones necesarios para el diseño del horno de combustión y la de postcombustión:

- Base del cálculo para la planta que tendrá capacidad de 50 toneladas diarias.
- Condiciones de los reactantes (desechos) son  $P=1\text{ atm}$ ,  $T=298\text{ K}$  ( $25^{\circ}\text{C}$ ).
- Capacidad del horno es de  $2.2\text{ Ton/h}$ .
- La caída de presión en los ventiladores de la cámara primaria se toma de  $10\text{ cmH}_2\text{O}$ .
- Perdidas por radiación del  $5\%$ .
- Para el gas natural o LP el valor de  $Z=0.987$ ;  $P=4.6\text{ atm}$  y  $T=60^{\circ}\text{F}$  (datos suministrados por la empresa Z gas).
- En la cámara primaria se debe asegurar una temperatura mínima de  $600^{\circ}\text{C}$ .
- Para el dimensionamiento de la cámara de postcombustión la velocidad de gases recomendada es de  $20\text{ pies/s}$ .
- En la cámara de postcombustión se asume un exceso de aire del  $100\%$ .
- La caída de presión en el ciclón se asume de  $10\text{ cmH}_2\text{O}$ .
- En la cámara secundaria se deberá asegurar una temperatura mínima de  $1200^{\circ}\text{C}$ .
- En la cámara primaria el tiempo de residencia de los gases deberá ser como mínimo de  $0.2\text{ segundos}$  a  $850^{\circ}\text{C}$ .
- En la cámara de postcombustión el tiempo de residencia de los gases deberá ser como mínimo de  $2\text{ segundos}$  a  $1200^{\circ}\text{C}$ .

### 3.2 DISEÑO DE SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

En la figura 3.2 y 3.3 se observa un sistema de alimentación para una planta de incineración de desechos, en los cuales se ve el funcionamiento de la grúa trasladando desechos desde la fosa hacia la tolva y una banda transportadora.

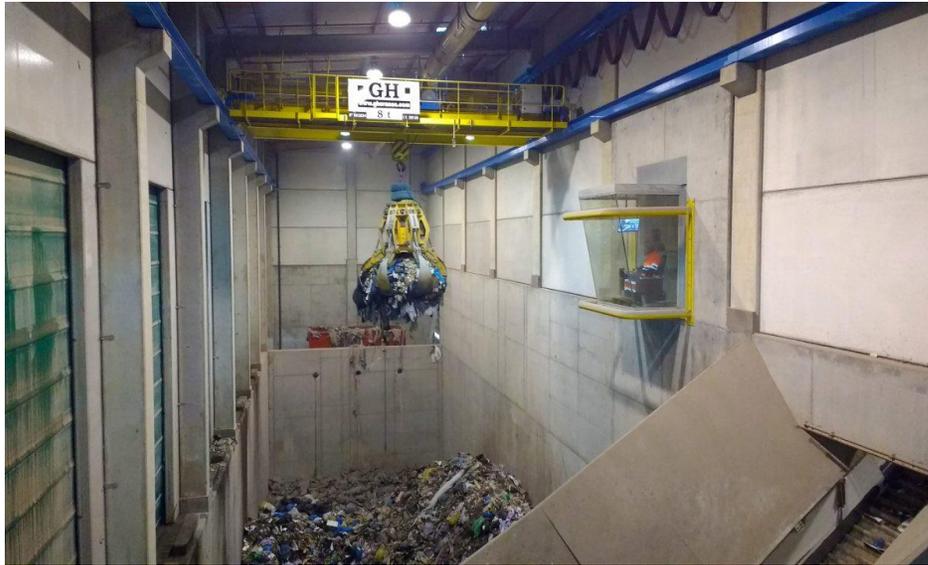


Figura 3.2. Grúa trasladando material desde la fosa hacia la tolva y una banda transportadora.



Figura 3.3. Grúa depositando desechos en las bandas de alimentación.

### 3.2.1 FOSA

Como primer paso dentro del proceso de la planta, es el de los camiones recolectores de residuos que llegan al lugar, en ese momento reciben un pretratamiento, como se mencionó en capítulos anteriores y tiene que tener un proceso de secado o remover el exceso de humedad que estos puedan contener y una clasificación previa en donde se retire lo que puede ser reciclable entre otros factores, para eso se necesita de un lugar donde los residuos se vayan almacenando, por lo cual se sugiere la construcción de una fosa como las que se muestran en la figura 3.4.

Aclarado lo anterior se procede al dimensionamiento:

- La zona de trabajo inicial del vertedero se excava hasta la profundidad diseñada, La zona aireada (zona entre la superficie del suelo y las aguas subterráneas permanentes) y el equipamiento para supervisar las aguas subterráneas se instala antes de colocar el recubrimiento del vertedero. El fondo del vertedero se prepara para proporcionar drenaje para el lixiviado y se instala un recubrimiento de baja permeabilidad.

$$\rho = 150 \text{ kg/m}^3$$

$$m = 200 \text{ ton} = 200,000 \text{ kg}$$

$$a = 12 \text{ m}$$

$$l = 20 \text{ m}$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{a * l * h} \rightarrow h = \frac{m}{a * l * \rho}$$

$$h = \frac{200,000 \text{ kg}}{12 \text{ m} * 20 \text{ m} * 150 \text{ kg/m}^3} = 5.55 \text{ m} \approx 6 \text{ m}$$

- Deben instalarse zanjas horizontales para la recuperación del gas en el fondo del vertedero, particularmente al pensar que puede ser problemático las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) procedentes de los residuos recientemente colocados. Para minimizar el escape de COV, se aplica un vacío y el aire se aspira a través de las áreas ya utilizadas del vertedero. El gas que se separa tiene que quemarse en condiciones controladas para destruir los COV. Antes de empezar el relleno, se construye una berma de suelo en el lado a favor del viento dentro de la zona planificada de relleno. La berma sirve como cortavientos para controlar el vuelo de materiales y también sirve para compactar contra ella los residuos. En el caso de la fosa para residuos orgánicos, comúnmente, se construye bajo techo con un aspersor de gases para crear un vacío y haciendo que los gases sean tratados sean quemados con los mismos gases del incinerador, sin embargo, estos casos serían analizados al momento de construir la fosa.

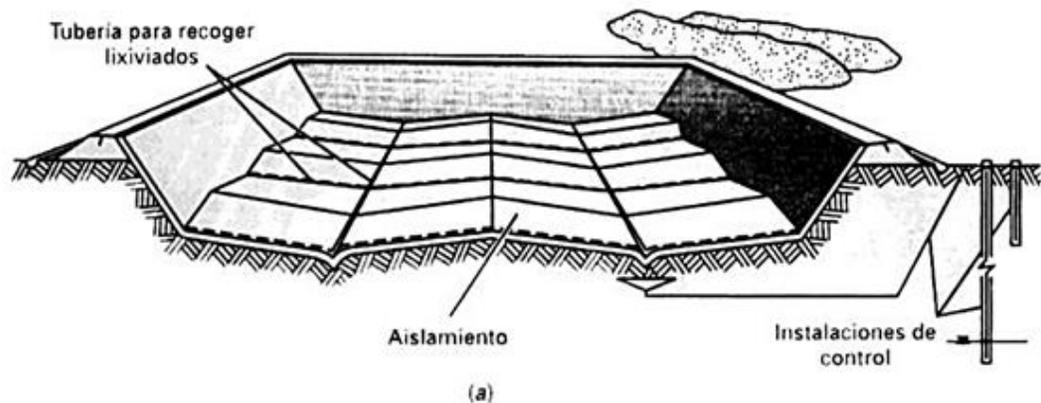


Figura 3.4. Desarrollo y clausura de un vertedero de residuos sólidos: (a) excavación e implantación del recubrimiento del vertedero.

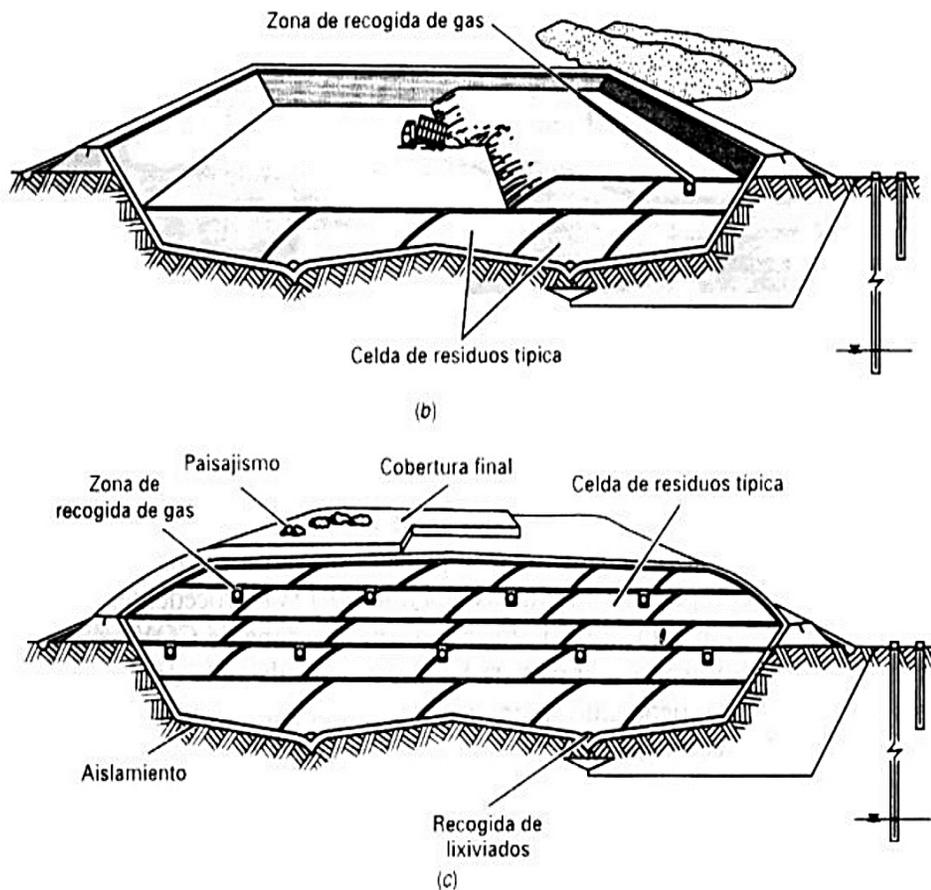


Figura 3.4. (Continuación) Desarrollo y clausura de un vertedero de residuo sólidos: (b) vertido de residuos sólidos en el vertedero, y (c) sección del vertedero clausurado.

### 3.2.2 GRÚAS

El sistema de alimentación necesita una grúa para el transporte de residuos a incinerar, de la fosa a la tolva. Se debe de considerar:

- La capacidad total de las instalaciones a incineración.
- La distribución del área de manejo de residuos.
- El tipo de residuos.
- El tiempo que llevara recibir y procesar los residuos.
- Que se ajuste para que no disperse basura mientras la transporte.
- Que tenga un buen desplazamiento para recorrer varios puntos de la fosa.

Por lo cual se sugiere el uso de una grúa puente con un brazo hidráulico como se muestra en la figura 3.5 con una capacidad de 3.25 toneladas, según catalogo abarca 5 m<sup>3</sup> de residuos, sin embargo, la capacidad variara de acuerdo al fabricante. Datos tomados de la empresa española CredeBlug S. L.,

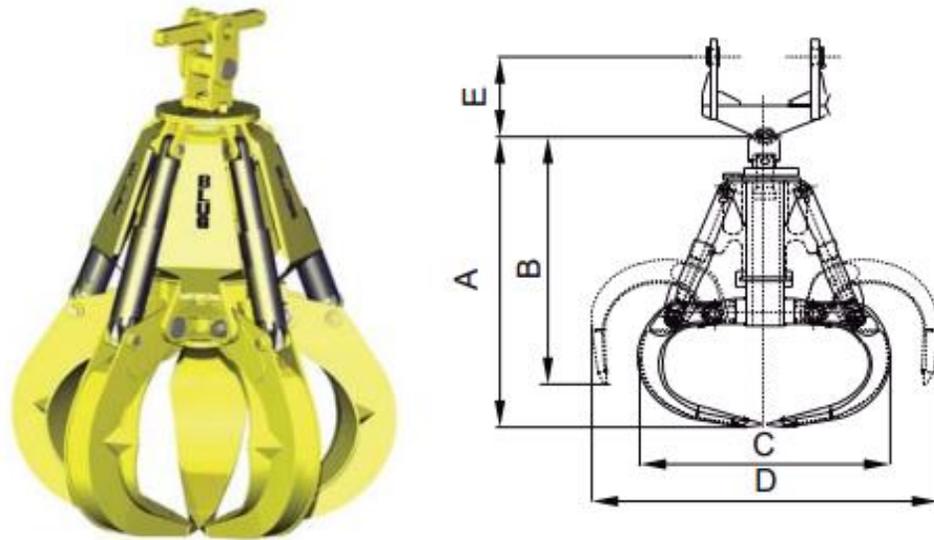


Figura 3.5. Gancho hidráulico de 5 garras.

Tabla 3.1. Dimensiones de Ganchos hidráulicos.

Modelo	Capacidad m <sup>3</sup>	Nº de garras	Presión trabajo bar	Grúa SWL t	Peso kg	Dimensiones mm				
						A	B	C	D	E
PNA-1000-3	1	5	250	4,4	1860	2250	1980	1920	2600	Según tipo de suspensión de carretilla/grúa
PNA-1500-3	1,5	5	250	6	2100	2440	2000	1970	2980	
PNA-2000-3	2	5	250	8	3000	3060	2500	2400	3625	
PNA-2500-3	2,5	5	250	9,5	3250	3210	2550	2540	3880	
PNA-3000-3	3	6	250	12	4350	3400	2660	2500	4200	
PNA-4000-3	4	6	250	14,6	4560	3500	2675	2600	4475	
PNA-5000-3	5	6	250	17,3	4800	3620	2690	2940	4655	

### 3.2.3 TOLVA

La tolva tiene que llevar una medida adecuada para que los residuos que transporta la grúa caigan directamente al incinerador, según lo anterior y a la grúa de 3.25 ton que se seleccionó, se sabe que la grúa al momento de estar abierta tiene una distancia entre sus pinzas de aproximadamente 3.88 m, y que es una grúa de 5 garras, es decir que se conforma un cuadrado de 4 m x 4 m aproximadamente. Debido a lo anterior se procede a diseñar una para densidades mayores a  $150 \text{ kg/m}^3$ .

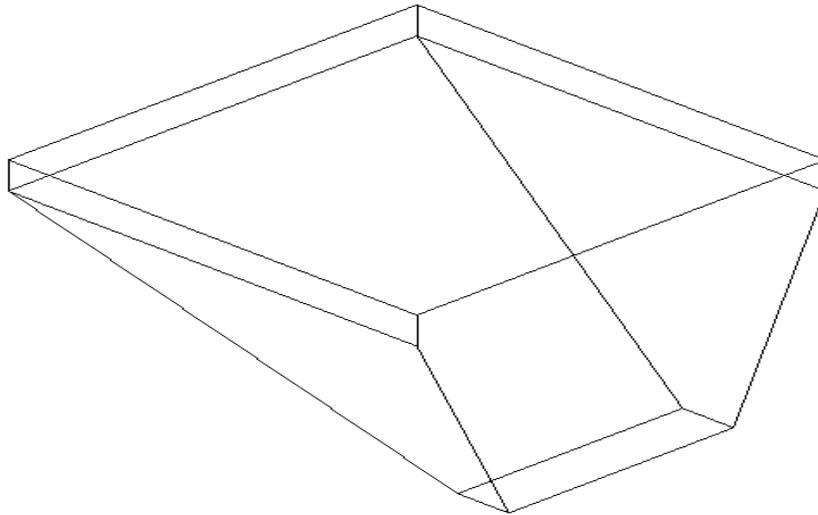


Figura 3.6. Tolva receptora de residuos.

Partiendo de lo anterior y a las condiciones establecidas previamente, se tiene que tener una tolva con capacidad de almacenar  $15 \text{ m}^3$  de residuos. Tomando en cuenta de lo anterior se pasó a calcular el volumen que puede albergar una tolva con las siguientes dimensiones:

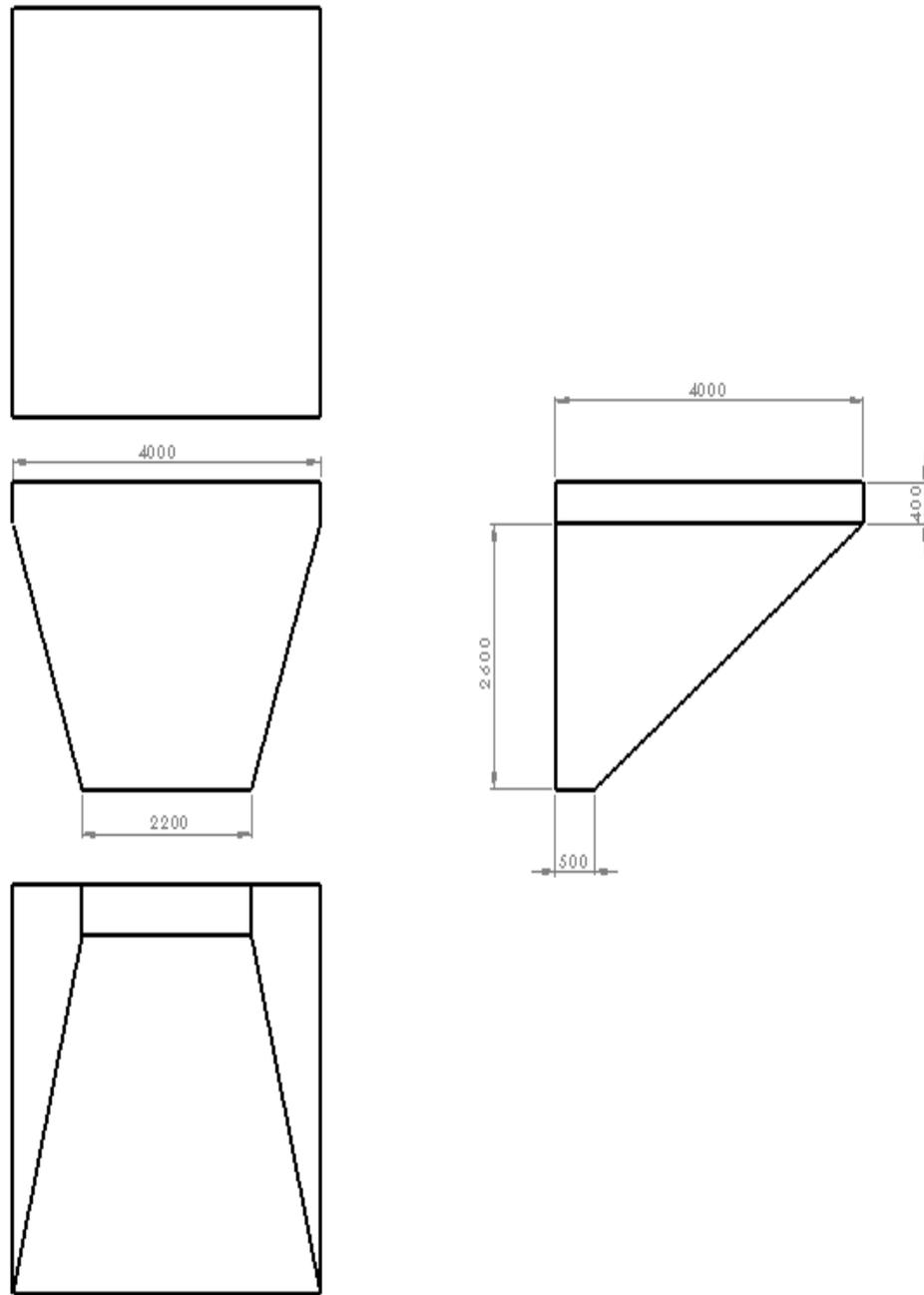


Figura 3.7. Dimensiones de la tolva. (Cotas en milímetros)

### 3.3 DISEÑO DE PARRILLA MÓVIL

Tabla 3.2. Parámetros de banda transportadora.

<b>Parámetros de diseño y selección de banda transportadora y mecanismo de accionamiento</b>			
<b>Potencia de motor reductor</b>	7.5 HP (Ref. Bibliografía)	<b>Mecanismo de accionamiento</b>	Cadena #80 de tres hileras y Paso de 1 in
<b>Características motor reductor</b>	240V, 4 polos, 3 fases, 60 Hz. 1750 RPM de entrada, 143 RPM de salida.	<b>Diámetro de Catarina impulsora</b>	0.1 m
<b>Tipo de banda</b>	B (Ref. Bibliografía)	<b>Diámetro de Catarina impulsada</b>	0.3 m
<b>Velocidad de la banda</b>	0.5 m/s w = 47 RPM	<b>Distancia entre centros</b>	1.22 m
<b>Peso a soportar</b>	2.2 Ton	<b>Longitud de cadena (L/P)</b>	3 m
<b>Cantidad y dimensiones de las bandas a utilizar</b>	3 bandas de 3 metros y 1 de 4 metros Longitud= 8.64m Ancho = 2.2m Espesor = 12mm	<b>Material de la banda</b>	Acero inoxidable refractario 25/20 - 1.4841 AISI 314
<b>Tipo de accionamiento</b>	Catarina	<b>Mecanismo de arrastre de la banda</b>	Cadena #80 a los extremos de la banda impulsado por Catarina

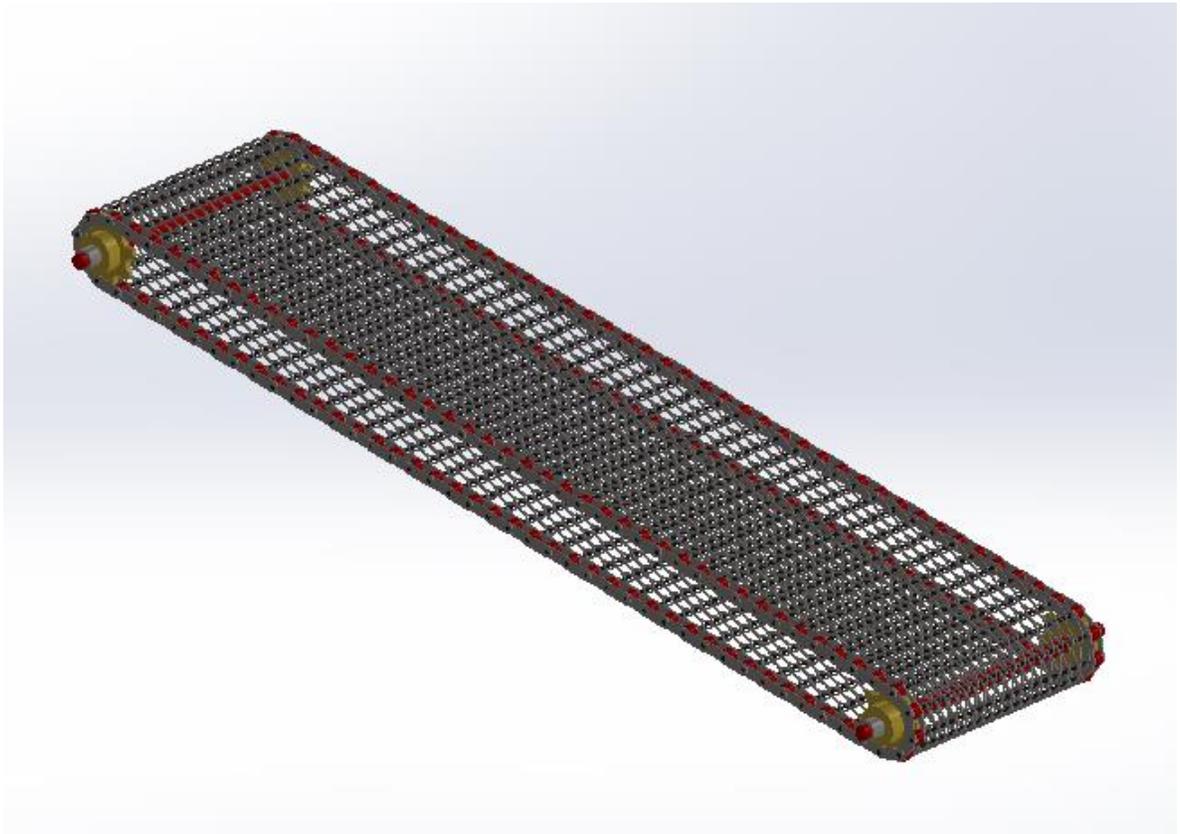


Figura 3.8. Banda transportadora, material acero inoxidable refractario AISI 314.

El sistema de transporte de residuos consta de 4 bandas ordenadas de manera escalonada como la que se muestra en la figura 3.7; la primera banda, de 3 metros de largo, es la que recibe los residuos que caen de la tolva y los traslada y caen en la banda, de 4 metros, en la que ingresan a la cámara primaria de combustión, luego los dos siguientes tramos de banda (de 3 metros cada una) son las que terminan de transportar los residuos al haber pasado la etapa de los quemadores y en la que se terminan de consumir y por consiguiente desintegrarse caer en la fosa o ser arrastrados por los gases a los procesos de postcombustión. Las bandas están interconectadas por sistemas de catarinas y cadenas, a manera que se mantenga constante la velocidad en todo el proceso de incineración.

### 3.4 DISEÑO DE CÁMARA PRIMARIA DE COMBUSTIÓN

El dimensionamiento de los equipos se determina realizando un balance de masa y energía en torno a cada operación de la unidad, utilizando las cantidades y características reales de los residuos.

La cámara se construye con material refractario resistente al roce mecánico y altas temperaturas.

#### 3.4.1 CANTIDADES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS

A partir de las cantidades y características de los residuos de la tabla 3.3, se calcularon las fracciones en peso de cada componente para determinar las propiedades globales de los residuos.

Distribución en peso (base húmeda) y lista de componentes de los desechos presentes en la recolección que se produce en El Salvador.

Tabla 3.3. Distribución en peso (Base húmeda) de los desechos orgánicos.

Componentes	Porcentaje	Peso por día (kg)	Peso por hora (kg)
Papel	41	21,730	905
Caucho y cuero	15	7,950	331
Textiles	4	2,120	88
Maderas	10	5,300	221
Alimentos	10	5,300	221
Desechos de patio	20	10,600	442
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>53,000</b>	<b>2,208</b>

En la tabla 3.4 se determina el análisis elemental de los desechos y su porcentaje en carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y ceniza, que contiene cada

uno de los componentes de los desechos orgánicos. Los resultados se utilizan para caracterizar la composición química que tienen.

Tabla 3.4. Análisis elemental de los desechos.

<b>Composición elemental</b>						
<b>Componente</b>	<b>C (%)</b>	<b>H (%)</b>	<b>O (%)</b>	<b>N(%)</b>	<b>S(%)</b>	<b>Ceniza (%)</b>
<b>Papel</b>	43.5	6	44	0.3	0.2	6
<b>Caucho y cuero</b>	60	8	11.6	10	0.4	10
<b>Textiles</b>	55	6.6	31.2	4.6	0.15	2.5
<b>Maderas</b>	49.5	6	42.7	0.2	0.1	1.5
<b>Alimentos</b>	48	6.4	37.6	2.6	0.4	5
<b>Desechos de patio</b>	47.8	6	38	3.4	0.3	4.5
<b>Inorgánicos misceláneos.</b>	26.3	3	2	0.5	0.2	68

### 3.4.2 CARACTERÍSTICAS DE ALIMENTACIÓN PARA CÁMARA DE COMBUSTIÓN

A partir de la tabla 3.3 que proporciona las fracciones en peso de cada tipo de residuo y con esto determinar las propiedades globales de los residuos, como se indica en la tabla 3.4. y a partir de los datos de la tabla 1.5 se determina un valor compuesto para el contenido calórico, el contenido de humedad y el contenido de ceniza de los residuos, como se indica a continuación:

- **Contenido calórico de los residuos:** es la sumatoria de el contenido calórico que presentan los residuos por la fracción de la cual estaría compuesto el 100% de lo que se va a incinerar como lo muestra la tabla 3.5.

Tabla 3.5. Contenido energético de los residuos.

Componente	Energía calórica por compuesto kJ/kg	Fracción por contenido	Contenido calórico presente en los residuos (kJ/kg)
Papel	18608	0.41	7629.28
Caucho y cuero	27912	0.15	4186.8
Textiles	18608	0.04	744.32
Maderas	19771	0.1	1977.1
Alimentos	6978	0.1	697.8
Desechos de patio	18608	0.2	3721.6
Total	110485	1	18956.9

El contenido energético de los desechos sirve para el cálculo de la temperatura de llama y esta a su vez ayuda para la selección de los materiales para la construcción y prototipo. Si no se puede disponer de valores de poder calorífico, de los valores aproximados del poder calorífico para los desechos pueden determinarse mediante el uso de la ecuación conocida como la fórmula de Dulong modificada:

$$\frac{KJ}{Kg} = \left( 145C + 610 \left( H_2 - \frac{1}{8} O_2 \right) + 40S + 10N \right) * 2.326$$

Donde:

- C = Carbono, porcentaje en peso.
- $H_2$  = Hidrógeno, porcentaje en peso.
- $O_2$  = Oxígeno, porcentaje en peso.
- S = Azufre, porcentaje en peso.
- N = Nitrógeno, porcentaje en peso.
- **Contenido de humedad:** es la sumatoria de la fracción de humedad que presentan por la fracción del peso de los residuos mostrados en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Contenido de humedad sobre los desechos.

<b>Componente</b>	<b>Fracción por contenido</b>	<b>% de humedad</b>	<b>Contenido de humedad</b>
<b>Papel</b>	0.41	4	1.64
<b>Caucho y cuero</b>	0.15	1	0.15
<b>Textiles</b>	0.04	6	0.24
<b>Maderas</b>	0.1	15	1.5
<b>Alimentos</b>	0.1	70	7
<b>Desechos de patio</b>	0.2	50	10
<b>Total del porcentaje de humedad</b>			20.53

El método húmedo se usa más frecuentemente en el campo de la gestión de residuos sólidos. En forma de ecuación, el contenido de humedad, peso-humedad, se expresa de la forma siguiente:

$$M = \left( \frac{w - d}{w} \right) * 100$$

Donde:

d = peso de la muestra después de secarse a 105°C durante una hora (kg).

M = contenido de humedad, porcentaje.

w = peso inicial de la muestra según su entrega (kg).

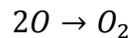
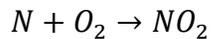
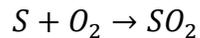
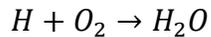
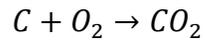
- **Contenido de cenizas:** del análisis elemental se calcula el porcentaje de ceniza que contienen los residuos mostrado en la tabla 3.7.

Tabla 3.7. Contenido de humedad sobre los desechos.

<b>Componente</b>	<b>Fracción por contenido</b>	<b>Ceniza</b>	<b>Contenido de ceniza</b>
<b>Papel</b>	0.41	6	2.46
<b>Caucho y cuero</b>	0.15	10	1.5
<b>Textiles</b>	0.04	2.5	0.1
<b>Maderas</b>	0.1	1.5	0.15
<b>Alimentos</b>	0.1	5	0.5
<b>Desechos de patio</b>	0.2	4.5	0.9
<b>Total del porcentaje de ceniza</b>			<b>5.61</b>

A partir de estos datos se puede conocer la cantidad de moles de cada elemento presente en los residuos y proceder al cálculo de la estequiometría de la combustión de la cámara primaria.

Las reacciones que buscamos para una combustión completa se expresan en las reacciones siguientes y sus resultados en la tabla 3.8:



Cálculo de moles para una base húmeda de 2,200 kg de residuos.

Tabla 3.8. Estequiometría de productos y reactantes.

<b>Estequiometría de cámara de combustión</b>					
	C	+	$O_2$	→	$CO_2$
<b>Peso molar u (kg)</b>	1.20e-02		3.20e-02		4.40e-02
<b>Peso (kg)</b>	23393.4		6.24e+04		8.58e+04
<b>Moles</b>	1.95e+06		1.95e+06		1.95e+06
	4H	+	$O_2$	→	$2H_2O$
<b>Peso molar u (kg)</b>	4.00e-03		3.20e-02		3.60e-02
<b>Peso (kg)</b>	3101.1		6.20e+03		1.40e+04
<b>Moles</b>	7.75e+05		1.94e+05		3.88e+05
	S	+	$O_2$	→	$SO_2$
<b>Peso molar u (kg)</b>	3.20e-02		3.20e-02		6.40e-02
<b>Peso (kg)</b>	153.65		1.54e+02		3.07e+02
<b>Moles</b>	4.80e+03		4.80e+03		4.80e+03
	N	+	$O_2$	→	$NO_2$
<b>Peso molar u (kg)</b>	1.40e-02		3.20e-02		4.60e-02
<b>Peso (kg)</b>	1069.15		2.44e+03		3.51e+03
<b>Moles</b>	7.64e+04		7.64e+04		7.64e+04
			2O	→	$O_2$
<b>Peso molar u (kg)</b>			3.20e-02		3.20e-02
<b>Peso (kg)</b>			19214.35		9.61e+03
<b>Moles</b>			6.00e+05		3.00e+05

### **3.4.3 BALANCE DE MASAS DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN**

Una vez establecidas las propiedades, características y la capacidad del horno, se puede empezar a evaluar los parámetros de diseño del sistema del horno del cual el siguiente balance de masa y energía se basan en una unidad de 2.2 ton/h.

Para determinar el tamaño del incinerador, el flujo de aire y los requisitos de combustible, se realizó un balance de masas para los sistemas de incineración propuesto. Las entradas son las cantidades de residuos, el flujo de aire (incluida la humedad arrastrada por el aire) y cualquier flujo de combustible suplementario. El gas efluente de la incineración incluye la humedad, el gas de escape seco y las cenizas. Los parámetros que intervienen en el balance de masa se presentan en la tabla 3.9.

Tabla 3.9. Resumen del balance de masas para cámara de combustión.

<b>Tabla de balance de masa de la cámara de combustión</b>		Unidades
<b>Flujo de residuos húmedo</b>	2208.33	kg/h
<b>Porcentaje de humedad</b>	20.53	%
<b>Flujo de humedad</b>	453.37	kg/h
<b>Flujo de residuos en seco</b>	1754.96	kg/h
<b>Porcentaje de ceniza</b>	5.61	%
<b>Caudal de ceniza</b>	123.89	kg/h
<b>Caudal volátil</b>	1631.08	kg/h
<b>Valor calorífico en residuos húmedos</b>	18956.90	kJ/kg
<b>Valor calorífico volátil</b>	25665.99	kJ/kg
<b>Valor calorífico de entrada</b>	41863154.17	kJ/h
<b>Tasa de producción de gas seco</b>	3.88/10552.05	kg/kJ
<b>Flujo de gas seco</b>	15393.13	kg/h
<b>Tasa de combustión de <math>H_2O</math> producida</b>	0.295/10552.05	kg/kJ
<b>Combustión <math>H_2O</math> flujo</b>	1170.35	kg/h
<b>Gas seco + Combustión de <math>H_2O</math></b>	16563.48	kg/h
<b>100% Aire requerido</b>	14932.40	kg/h
<b>Fracción de aire total</b>	2.5	Se requiere un exceso de un 150% de aire para una combustión eficaz.
<b>Entrada total de aire</b>	37331.01	kg/h
<b>Exceso de entrada de aire</b>	22398.61	kg/h
<b>Humedad/gas seco (aire)</b>	0.01	kg de $H_2O$ /kg de aire seco
<b>Caudal másico de humedad</b>	373.31	kg/h
<b>Total <math>H_2O</math> flujo de masa (salida)</b>	1997.03	kg/h
<b>Caudal total de gas seco (salida)</b>	37791.73	kg/h
<b>Caudal total de gas (salida)</b>	39788.77	kg/h

- **Flujo de residuos húmedo:** es el flujo de residuos que tendrá a la entrada por hora, tal cual se seleccionó anteriormente.
- **Porcentaje de Humedad:** suma total de las fracciones del peso de cada componente por su porcentaje en contenido de humedad.

- **Flujo de Humedad:** el flujo de la humedad al sacar el producto del porcentaje de humedad por el flujo de residuos húmedos entrantes.
- **Flujo de residuos en seco:** es el flujo de residuos que queda al remover su humedad.
- **Porcentaje de ceniza:** es el porcentaje de los residuos que queda después de la combustión, del cual podemos resaltar que solo es un 5.61%
- **Flujo de ceniza:** los residuos físicos que queden de la incineración es un equivalente a 123.89 kg/h de los 2,200 kg/g y del cual su volumen puede ser muy compresible a comparación de los residuos antes de su incineración.
- **Flujo de material volátil:** porción de residuos seco que se quema y se obtiene restando el flujo de la ceniza a los residuos secos.
- **Valor calorífico de los residuos húmedo:** valor calorífico por kilogramo de residuo húmedo.
- **Valor Calorífico de material volátil:** valor calorífico de los residuos por kg de material volátil del cual se encuentra con alimentación húmeda por su valor calorífico.
- **Valor calorífico de entrada:** valor energético total según la capacidad de 2.2 ton/h de la cámara de combustión por el valor calórico de los residuos húmedos.
- **Tasa de producción de gas seco:** por teoría tomamos que el gas producido por la combustión de los residuos es de 3.88 kg por cada 10,552 kJ

- **Flujo de gas seco:** es el producto del valor calórico de entrada que se le multiplica la tasa a la cual se producen gases secos a la cual son liberados.
- **Tasa de producción  $H_2O$  por combustión:** por teoría tomamos que para la humedad generada por la combustión de los residuos es de 0.295 kg por cada 10,552 kJ.
- **Flujo del  $H_2O$  por combustión:** el flujo de humedad de la combustión es el producto de la tasa de producción por el valor calórico de entrada.
- **Gas seco + combustión de  $H_2O$ :** es la suma del gas seco y los productos de la humedad de combustión, esta cifra se utiliza para obtener el aire necesario para la combustión.
- **100% aire requerido:** el flujo del gas seco y de la humedad que se produce de la combustión del material volátil, que es igual al flujo del material volátil más el peso del aire aportado. Asimismo, la necesidad de aire es igual a la suma del gas seco y la humedad de la combustión menos el material volátil. por estequiometria, es aquella necesidad de aire para la combustión completa del componente volátil de los residuos. El valor para el horno es del 100% de aire.
- **Fracción de aire total:** el aire necesario para una combustión eficaz se requiere un exceso de aire de 150% para lograr una combustión completa.
- **Entrada total de aire:** al cálculo del 100% de aire requerido le multiplicamos el exceso de aire y el producto de este nos dará el total de aire que requerimos.

- **Exceso de entrada de aire:** es para conocer el flujo de aire a ingresar restando del aire total, el necesario para la estequiometria.
- **Humedad/gas seco (aire):** al ingresar el exceso de aire la humedad del aire que entra en el sistema es de 0.01 kg de  $H_2O$  por cada kg de aire seco que ingresa
- **Caudal másico de humedad:** es el flujo de humedad en el sistema o la que tendrá el horno con el suministro de aire.
- **Flujo másico total de  $H_2O$  (salida):** es toda humedad que sale del sistema y esta equivale a la suma de los tres componentes de la humedad (flujo de humedad por alimentación + flujo producido por la combustión + el producido por la entrada de aire).
- **Caudal total de gas seco (salida):** es gas seco que sale del sistema es igual a la suma de los gases generados por la combustión volátil, aire estequiometrico y el flujo de aire excedente en el sistema
- **Caudal total de gas (salida):** la salida del sistema es la suma de los flujos totales de gas seco y de la humedad.

#### 3.4.4 BALANCE TÉRMICO (ENERGÍA) DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN

También se realizó un balance térmico para el sistema de incineración propuesto. Este balance supone que el calor que entra en un sistema menos las perdidas (debidas a la radiación, el calor perdido por la ceniza, etc.) es igual al calor que sale del sistema. El resultado de un balance térmico es la determinación de la temperatura de salida de la incineradora, el flujo de gas de salida, la necesidad de combustible suplementario y la necesidad total de aire. Al

determinar que parte del calor del incinerador está presente en los gases de escape, se puede calcular la temperatura de los gases de escape. Si la temperatura de los gases de escape calculada es mayor o igual que la temperatura de los gases de escape deseada, no se requiere combustible suplementario. Si la temperatura de los gases de escape es inferior a la temperatura deseada de los gases de escape, deberá añadirse combustible suplementario. Los productos de combustión del sistema deben incluir los productos de combustión del suplementario. En la tabla 3.10 se presenta un resumen del balance térmico de la cámara de combustión.

Tabla 3.10. Balance térmico de la cámara de combustión.

<b>Tabla de balance térmico de la cámara de combustión</b>		Unidades
<b>Perdidas de aire de refrigeración</b>	892,530.00	kJ/h
<b>Perdidas de calor por ceniza</b>	37461.10	kJ/h
<b>Perdidas de radiación</b>	2093157.71	kJ/h
<b>Corrección de humedad</b>	833590.31	kJ/h
<b>Pérdida total de calor</b>	2,189,558.50	kJ/h
<b>Valor térmico de entrada</b>	41863154.17	kJ/h
<b>Valor térmico de salida</b>	39673595.66	kJ/h
<b>Flujo de gas seco (salida)</b>	37791.73	kg/h
<b>Flujo de H<sub>2</sub>O (salida)</b>	1997.03	kg/h
<b>Temperatura real</b>	605	°C
<b>Temperatura deseada</b>	600	°C
<b>Caudal de gas volumétrico (salida)</b>	875.4972815	<i>m<sup>3</sup>/min</i>
<b>Recuperación de calor de la cámara de combustión</b>	0	A temperatura actual

- **Perdidas de aire por refrigeración:** el incinerador es enfriado por un flujo de aire estándar de 56.65 SMCM. En un metro cubico estándar de aire su peso es de  $1.2 \text{ kg/m}^3$  por lo cual el flujo será de 4082.33 kg/h de aire. También se tiene que el flujo de descarga es a la atmosfera. La temperatura se estima que es de 232 °C por lo cual su poder calorífico es del 218.64 kJ/kg. Ya con estos datos se puede calcular las perdidas por refrigeración multiplicando el flujo del aire por su poder calorífico por kilogramo.
- **Perdidas por ceniza:** se tiene que el contenido de calor de la ceniza es de 302 kJ/kg. la pérdida de calor debida a la ceniza es el poder calórico de la ceniza por el flujo de la ceniza.
- **Perdidas por radiación:** las pérdidas de calor por radiación del incinerador pueden calcularse aproximadamente como un porcentaje del calor como un porcentaje de calor total de combustión. Para una liberación de calor total se utiliza una pérdida del 1.5%.
- **Corrección de la humedad:** el calor de vaporización de la humedad a 315°C es de 2233 kJ/kg, el cual se añade a la capacidad calorífica total de los gases de combustión.
- **Pérdidas totales de calor:** es la suma del calor descargado como aire de refrigeración, más el calor perdido en la descarga de la ceniza, más las perdidas por radiación, menos la corrección de humedad.
- **Valor térmico de entrada:** el calor generado a partir de la parte combustible de la alimentación.

- **Valor térmico de salida:** el contenido de calor de los gases de combustión que sale del es igual al valor térmico de entrada menos las pérdidas por calor.
- **Flujo de gas seco (salida):** el contenido de gas seco en los gases de combustión
- **Flujo de H<sub>2</sub>O (salida):** el contenido de humedad en los gases de combustión.
- **Flujo total de gas (salida):** es la suma del flujo de gas seco y el de humedad.
- **Temperatura Real:** el contenido de calor del flujo de gas seco más el contenido de calor de flujo de humedad que sale del sistema es igual al contenido de calor de salida a las condiciones actuales, el cual con esta energía podemos encontrar la temperatura a las condiciones actuales.
- **Temperatura deseada:** la temperatura favorecida de los gases de escape del horno es de 600°C por lo tanto, no se necesita combustible adicional en el propio horno, sin embargo se necesita un combustible suplementario considerable para la cámara de postcombustión
- **Caudal de gas volumétrico (salida):** el flujo de gas de escape de la cámara a condiciones actuales.
- **Recuperación del calor de la cámara de combustión:** no se tiene recuperación debido a que todo el flujo al igual que el calor pasan a la cámara de postcombustión.

### 3.4.5 DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN

A partir de la tasa de liberación de calor calculada de la sección 3.4.3 se puede calcular el volumen y las dimensiones necesarias del horno. Teniendo en cuenta las siguientes condiciones:

- Una liberación de calor de  $931,500 \text{ kJ/h-m}^3$ .
- La longitud será de por lo menos 4 veces el área transversal.
- Las dimensiones del horno sin considerar el material refractario.

Dada estas condiciones realizamos el siguiente proceso:

- 1- Se encuentra el volumen que se genera en la cámara de combustión con los calores de salida y debido a la liberación de calor que se produce por una hora en un metro cubico.
- 2- Luego, encontrado el volumen se procese a encontrar el dimensionamiento encontrando una longitud dividiendo un área transversal que se toma con dimensiones cuadradas y una vez definida el área se procede a multiplicar 4 veces ese valor como se muestra en la tabla...
- 3- Encontradas las dimensiones es necesario aclarar que son dimensiones internas y que por lo tanto falta agregar el grosor de las láminas de recubrimiento y del material refractario como se muestran en los planos anexos.

Los valores dados por los cálculos realizados en el proceso antes mencionado se encuentran en la tabla 3.11

Tabla 3.11. Dimensionamiento de cámara de combustión

<b>Diseño de horno primario</b>		<b>Unidades</b>
<b>Calor de salida</b>	39673596	kJ/h
<b>Calor liberado en una hora por metro cuadrado</b>	931477.31	kJ/h- $m^3$
<b>Volumen del gas de combustión</b>	42.59	$m^3$
<b>Área transversal</b>	4.30	$m^2$
<b>Longitud</b>	10	m
<b>Lados transversales</b>	2.2	m

### **3.5 DISEÑO DE LA CÁMARA DE POSTCOMBUSTIÓN**

La cámara de postcombustión mayormente es el manejo y la quema de los gases resultantes de la combustión del desecho sólido, este proceso sirve para terminar de eliminar y completar la quema de todos los gases tóxicos que se puedan generar como los NOx y los furanos como ayudarnos al tratamiento del mismo.

#### **3.5.1 BALANCE DE MASA Y ENERGÍA DE LA POSTCOMBUSTIÓN**

La información obtenida del balance de masa y energía de la cámara primaria se utilizó para realizar un balance de masa y energía para la postcombustión. Esto se hizo para determinar cuánto combustible suplementario se necesitará en la postcombustión para elevar los gases de escape del horno a 1100°C y los flujos del gas resultantes. Los resultados del balance se presentan en la tabla 3.12.

Tabla 3.12. Balance de masa y energía

<b>Tabla de balance de masa/calor de la postcombustión</b>		<b>Unidades</b>
<b>Flujo de gas seco (entrada)</b>	37792	kg/h
<b>Flujo de H<sub>2</sub>O(entrada)</b>	1997	kg/h
<b>Temperatura (entrada)</b>	605	°C
<b>Valor calorífico disponible</b>	39673596	kJ/h
<b>Temperatura deseada</b>	1100	°C
<b>Valor calórico deseado</b>	60059373	kJ/h
<b>Valor calórico neto</b>	20385778	kJ/h
<b>Calor disponible @ 1200°C de gas propano</b>	22860	kJ/m <sup>3</sup>
<b>Combustible requerido</b>	892	m <sup>3</sup> /h
<b>Aire necesario</b>	1336353.82	kg/h
<b>Gas seco producido</b>	1341428.771	kg/h
<b>H<sub>2</sub>O producido</b>	93509	kg/h
<b>Caudal total de gas seco (salida)</b>	1379221	kg/h
<b>Flujo total de H<sub>2</sub>O (salida)</b>	95506	kg/h
<b>Flujo total de gas (salida)</b>	1474726	kg/h
<b>Valor calorífico del combustible</b>	34724756845	kJ/h
<b>Valor térmico total</b>	2433196228	kJ/h
<b>Perdidas de calor (10%)</b>	243319622.8	kJ/h
<b>Valor térmico de salida</b>	2189876605	kJ/h
<b>Caudal de gas volumétrico (salida)</b>	106814	m <sup>3</sup> /min a temp. actual

- **Flujo de gas seco (entrada):** es el flujo de gas seco que se produce a la salida de la cámara de combustión.
- **Flujo de H<sub>2</sub>O (entrada):** es la entrada de flujo húmedo producido por la cámara de combustión.
- **Temperatura (entrada):** temperatura de salida de los gases de la cámara de combustión.

- **Valor calorífico disponible:** valor calorífico que tienen los flujos a la salida de la cámara de combustión.
- **Temperatura deseada:** son de 1100°C debido a que en dicha temperatura todos los gases restantes que no se pudieron quemar en la cámara anterior, lo puedan lograr debido a su alto punto de fusión.
- **Valor calorífico deseado:** dado los flujos de gas seco y de humedad del horno y teniendo en cuenta que en la postcombustión tenemos que tener una temperatura de 1100°C, el valor calorífico deseado se puede calcular sumando el flujo por su poder calorífico del gas seco y de la humedad a la temperatura deseada.
- **Valor calorífico neto:** es la cantidad de calor que debe añadirse a los gases de combustión para elevar su contenido térmico al nivel deseado, se puede encontrar con la diferencia que hay en la diferencia del valor deseado con el calor de entrada a la postcombustión.
- **Calor disponible @ 2200 °F de gas propano:** se propone utilizar el calor disponible del gas propano para alcanzar los 1100°C, debido a su poder calorífico y su fácil obtención y manejo comercial.
- **Combustible requerido:** utilizando el calor disponible del propano con un 20% de exceso de aire, el combustible necesario para elevar la temperatura del gas en la postcombustión a 1100°C, es de 13,739 kJ/m<sup>3</sup>. El calor adicional se divide por el calor disponible del propano.

- **Aire necesario:** para la combustión de propano, el aire necesario es de 15,042.65 kg/m<sup>3</sup> y para conocer el aire requerido, es necesario multiplicar este factor por el combustible requerido.
- **Gas seco producido:** es el flujo que se genera a partir de la adición de combustible.
- **H<sub>2</sub>O producido:** es el flujo que se genera a partir de la adición de combustible.
- **Caudal total de gas seco (salida):** por balance de masas el flujo total de gas seco será el gas seco que proviene de la cámara de combustión más el generado debido a la combustión del combustible adicional.
- **Flujo total de H<sub>2</sub>O (salida):** por balance de masas el flujo total de la humedad de los gases es la suma del flujo de humedad que viene de la cámara de combustión más el generado debido a la combustión del combustible adicional en la cámara de postcombustión.
- **Flujo total de gas (salida):** la suma de todos los gases a la salida de la cámara de postcombustión.
- **Valor calorífico del combustible:**
- **Valor térmico total:** el valor térmico total de los gases de escape que salen de la postcombustión es igual a la suma del contenido térmico del gas antes de la adición de combustible adicional, más el contenido térmico del propano
- **Perdidas de calor (10%):** en la postcombustión, se toma en cuenta que sea del 10%

- **Valor térmico de salida:** es el valor térmico total menos todas las pérdidas por calor.
- **Caudal de gas volumétrico (salida):** a condiciones actuales es la suma de los flujos máxicos por el flujo volumétrico de los gases secos y de la humedad por minuto.

### 3.5.2 CÁLCULOS DE LA POSTCOMBUSTIÓN

Conociendo el flujo de gas en la postcombustión de la tabla del balance de masa y energía y tomando en cuenta un tiempo de retención de 2 segundos para los PCB (según TSCA), se puede calcular el volumen de la postcombustión.

Por medio de la tabla anterior sabemos que el caudal del gas en la postcombustión es de  $106,814 \text{ m}^3/\text{min}$  y por teoría sabemos el tiempo de retención, dado esos dos parámetros podemos conocer el volumen al cual tendríamos que diseñar la cámara.

Para proporcionar una mezcla adecuada, se necesita una velocidad de 6.5 m/s por lo que con el tiempo de retención podemos saber la altura de postcombustión.

Ya contando con el volumen y la altura procedemos a sacar el área y en el caso del diseño desarrollado sería de una torre cilíndrica.

Una vez obtenida el área podemos conocer el diámetro interno de la cámara de postcombustión al cual a la medida final se le tendrá que añadir el espesor del material refractario.

Desarrollando lo mencionado anteriormente tenemos en la tabla 3.13 el dimensionamiento de la cámara de postcombustión.

Tabla 3.13. Dimensionamiento de la cámara de postcombustión.

<b>Diseño de cámara postcombustión</b>		<b>Unidades</b>
<b>Flujo de gas</b>	106814	$m^3/min$ a temperatura actual
<b>Tiempo de retención</b>	2.00	Segundos
<b>Volumen de la postcombustión</b>	3560	$m^3$
<b>Velocidad de mezcla de gases</b>	6.50	m/s
<b>Altura de postcombustión</b>	3.25	m
<b>Área de postcombustión</b>	1095.53	Metros cuadrados
<b>Diámetro del ducto</b>	37.35	Metros

### 3.6 DISEÑO DE TRATAMIENTO DE GASES

Una vez pasado el proceso de combustión de los desechos y de eliminación de partículas dañinas como toxinas, furanos y otros en la cámara de post combustión, estos gases pasan a un tratamiento, ya que todavía pueden contener gases tóxicos para el ser humano, salen a temperaturas demasiado elevadas por lo cual este realiza el proceso siguiente:

#### 3.6.1. INTERCAMBIADOR DE CALOR

A partir de la salida de la cámara de postcombustión sabemos que los gases vienen a una temperatura de 1100 °C por lo cual estos entraran a unos intercambiadores de calor. Para disminuir su temperatura y así poder pasar a los otros equipos para que puedan tener su tratamiento de gases.

En este apartado veremos el diseño y el calor que se puede recuperar y que se obtiene de intercambiar el poder calorífico que traen los gases con el del otro fluido que nos servirá para disminuir la temperatura.

- Diseño del intercambiador de calor.

Para diseñar un intercambiador de calor es necesario conocer algunas propiedades de las corrientes que van a circular, como lo son: viscosidad, conductividad térmica entre otros.

Para el caso de la planta de incineración, los parámetros y las características del intercambiador se presentan en la tabla 3.14

Tabla 3.14. Parámetros y características del intercambiador de calor.

<b>Diseño del intercambiador de calor</b>		<b>Unidades</b>
<b>Flujo másico de entrada de gases</b>	368.68	kg/h
<b>Temperatura de entrada de los gases</b>	1100	°C
<b>Temperatura de salida de los gases</b>	350	°C
<b>Selección de tipo de intercambiador</b>	Coraza y tubos a contraflujo	-
<b>Líquido para contraflujo</b>	Agua	-
<b>Fluido tubular (por los tubos)</b>	Agua	-
<b>Fluido anular (por la coraza)</b>	Gases	
<b>Temperatura de entrada del agua</b>	25	°C
<b>Temperatura de salida del agua</b>	250	°C
<b>Viscosidad de los gases (<math>\mu</math>)</b>	0.0004345	$N/m^2 * s$
<b>Conductividad térmica de los gases (k)</b>	0.0331	W/m*k
<b>Viscosidad del agua (<math>\mu</math>)</b>	0.00186714	$N/m^2 * s$
<b>Conductividad térmica del agua (k)</b>	0.6913	W/m*k
<b>Temperatura media logarítmica (lmtd)</b>	468.87	°C
<b>Temperatura media logarítmica efectiva (mtd)</b>	447.77	°C
<b>Área requerida</b>	51	m <sup>2</sup>
<b>Material</b>	Acero al carbono	-
<b>Arreglo</b>	Triangular	-
<b>Numero de tubos</b>	181	-
<b>Numero de deflectores</b>	156	-
<b>Diámetro del intercambiador</b>	8	m <sup>2</sup>
<b>Longitud de intercambiador</b>	21	m

Al realizar el diseño se dividió el caudal en 4 intercambiadores de calor, ya que el realizar uno solo resultan dimensiones demasiado grandes de los cuales serían difícil o imposible de fabricar, en la tabla 3.15 podemos tener el dato de la recuperación de calor.

Tabla 3.15. Valores para la recuperación de calor disponible.

Recuperación de calor (intercambiadores de calor)		Unidades
Numero de intercambiadores de calor	4	-
Valor térmico de salida de la postcombustión	2189876605	kJ/h
Cambio de entalpia de 1100 a 365	313.3	kJ/kg
Entalpia del agua	3040.31	kJ/kg
Caudal del gas seco de la postcombustión	1341428.77	kg/h
Caudal del agua de la postcombustión	93509	kg/h
Calor perdido por reducción de temperatura	704565790	kJ/h
Calor recuperable	1485310815	kJ/h
Potencia térmica útil	412.470813	Mwth

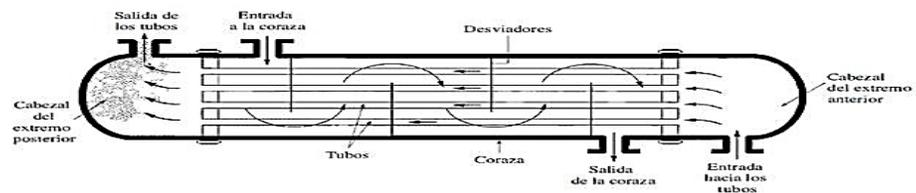


Figura 3.9. Intercambiador de calor de coraza y tubos.

- **Potencial Eléctrico.**

Debido a que el fin de este trabajo de graduación es únicamente al diseño de un horno incinerador de parrilla móvil, no podemos dejar de paso el potencial energético con el cual este puede contar aparte de la reducción volumétrica que estos tienen, su poder calorífico puede ser utilizado y en el caso del diseño de esta planta se ve que hay una potencia térmica de 414.47 MWth. La eficiencia global de las plantas de generación eléctrica basada en incineración y turbinas de vapor es del 15% al 24% aproximadamente lo significa que puede rondar entre 61.87MWe a 99MWe los que se podrían adquirir de esta planta.

### **3.6.2 SEPARADOR CICLÓNICO**

Debido a que los flujos que se manejan son muy grandes y no se puede seleccionar uno ya fabricado, se procede al diseño del mismo, con las condiciones de salida de los intercambiadores de calor. Los criterios de diseño fueron los siguientes:

- Se diseñará un tren de separación compuesto por cuatro separadores ciclónicos simétricos.
- Los tipos de separadores a diseñar serán del tipo Lapple como se muestra en la figura 3.6.1.
- La velocidad de entrada al separador será de 400 m/s.
- El caudal para cada separador será de  $1,600,000 \text{ m}^3/\text{h}$ .
- Tomar en cuenta que la densidad de los gases que es de  $150 \text{ kg}/\text{m}^3$ .

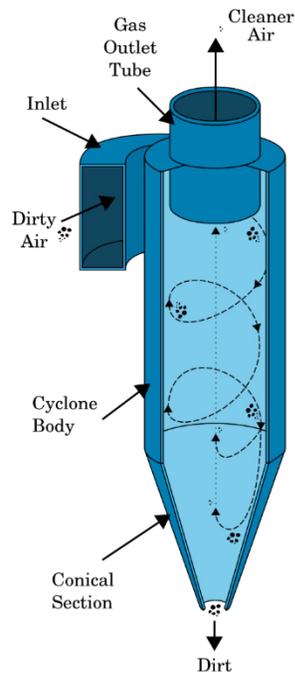


Figura 3.10. Separador ciclónico.

Con base a lo antes mencionado, en la tabla siguiente se muestra los datos calculados del dimensionamiento y en la figura 3.16 las cotas de su dimensión.

Tabla 3.16. Parámetros de dimensionamiento de separador ciclónico

<b>Separador ciclónico tipo Lapple</b>			
<b>Diámetro externo</b>	D	m	2.98
<b>Altura de la entrada al separador</b>	A	m	1.49
<b>Ancho de la entrada al separador</b>	B	m	0.75
<b>Altura de la tubería de salida de gases, adentro del separador</b>	S	m	1.86
<b>Diámetro de salida de gases del separador</b>	De	m	1.49
<b>Altura del cilindro</b>	H	m	5.96
<b>Altura total del separador</b>	H	m	11.93
<b>Diámetro de salida de cenizas</b>	B	m	0.75

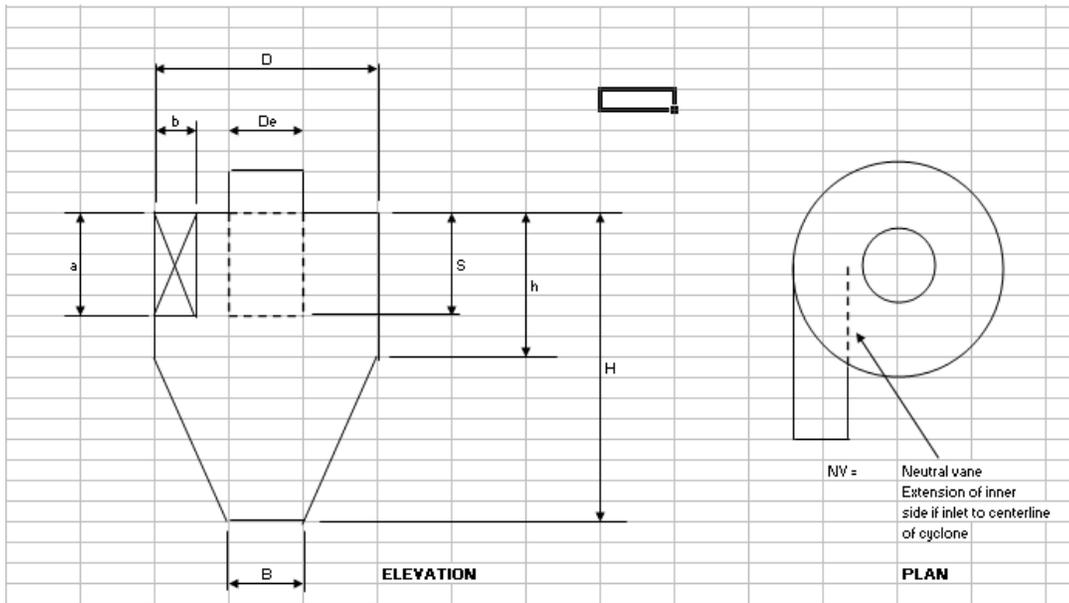


Figura 3.11. Cotas del separador ciclónico.

El flujo total de los gases a la salida de cada separador contiene una pérdida del 10% con respecto a los de su entrada.

### 3.6.3 COLECTOR DE GASES

Debido a los diámetros de las tuberías que vienen de los separadores ciclónicos que se dirigen a los filtros de mangas, se ve en la necesidad de ocupar dos colectores de gases para distribuir los gases hacia los módulos de la sección 3.6.5 por lo cual se ocuparan 2 tanques simétricos donde dos separadores llegaran a cada uno y tendrán las características de la tabla 3.17.

Tabla 3.17. Parámetros de dimensionamiento de colector de gases

Diseño de colectores		Unidades
Volumen del cilindro	1178.09725	$m^3$
Volumen de las dos semiesferas	523.598776	$m^3$
Volumen que puede retener	1701.69602	$m^3$
Entradas	2	-
Diámetro de entrada	1.6	m
Salidas	24	-
Diámetros de salida	0.48	m
Diámetro del colector	10	m
Largo del colector	20	m

Para el diseño de los colectores se tomó en cuenta por la ecuación de continuidad que los flujos que venían de los separadores tenían que ser los mismos que salieran solo que para diferentes entradas y salidas a modo que su función sea más un distribuidor de flujo que un colector.

Para el caso de la planta se contará con dos colectores de los cuales dos separadores ciclónicos estarán unidos a ellos.

### 3.6.4 FILTRO DE MANGAS

Este tipo de filtración a través de un tejido es una forma simple y eficaz procedimiento de separación de polvo de una corriente de gas. La operación consiste en forzar el paso de la corriente de gas por el medio filtrante.

Para el caso de la planta incineradora se ha optado por seleccionar una batería de filtros de manga compuesto por 24 módulos con las características mostradas en las tablas y figuras siguientes.

Tabla 3.18. Parámetros técnicos módulo de filtrado

Especificaciones técnicas					
Modelo	Área de filtrado <i>m</i> <sup>2</sup>	Número de elementos filtrantes	Numero de tolvas	Numero de válvulas de limpieza	Consumo de aire comprimido
Ntva22x0825	170	176	2	22	87

Características físicas						
Modelo	Número de paneles de ventilación	P max	Kst	Lf	Wf	Tf
	-	Bar	M/s	M	M	M
Ntva22x0825	4	8.9	199	25	10	7

Tabla 3.19. Características físicas filtro de manga

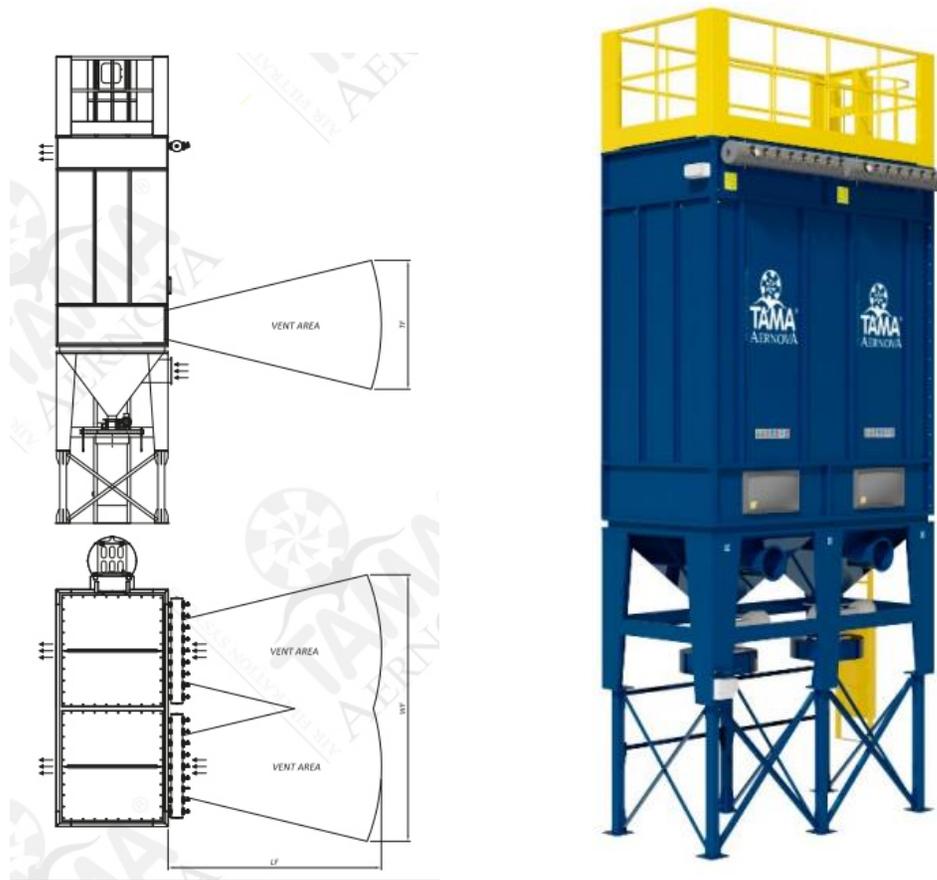


Figura 3.12a. Filtro de mangas.

Tabla 3.20a. Dimensiones filtro de manga

Dimensiones								
Modelo	A mm	B mm	B1 mm	H Tot (altura total) mm	In (entradas) mm	A In mm	A2 In mm	H In mm
NTVA22x082 5	430 0	167 5	199 5	7961	2 x (Ø480)	108 7	212 5	271 0

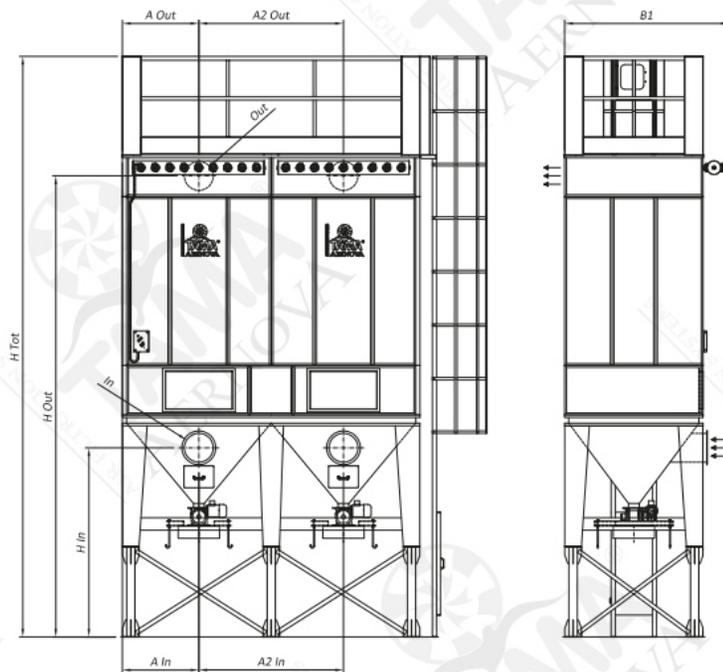


Figura 3.12b. Filtro de mangas.

Tabla 3.20b. Dimensiones filtro de mangas.

Dimensiones					
Modelo	Out (salidas)	A	A2	H	Peso
	mm	mm	mm	mm	kg
<b>NTVA22x0825</b>	2 x (850 x 350)	1100	2100	6505	3277

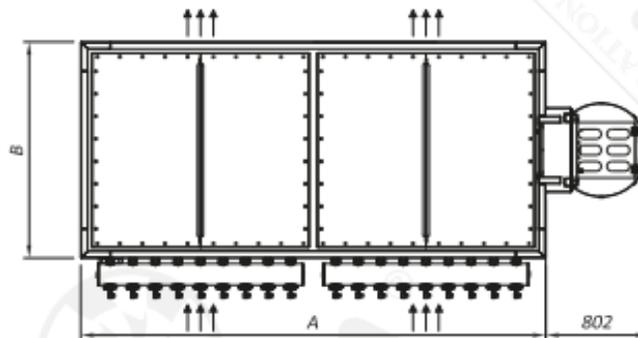


Figura 3.12c. Filtro de mangas.

### 3.7 CUARTO DE CONTROL

Debido a las dimensiones que tiene la planta de incineración y el uso operativo con el que este va a funcionar, se ve en la necesidad de tener un cuarto de control en donde los operarios puedan monitorear y realizar de una forma práctica las diferentes maniobras u operaciones según se dé el funcionamiento de la planta.

Por lo cual se tiene contemplado que contenga las siguientes operaciones:

- Control de compuerta de acceso a descarga de desecho a la fosa.
- Control de grúa puente y sistema de alimentación a tolva.
- Control y monitoreo de bandas transportadoras tanto de alimentación como de horno de combustión.
- Control y monitoreo de quemadores de cámara de combustión y postcombustión.
- Control y monitoreo de ventiladores de cámara de combustión y postcombustión.
- Control y monitoreo de sistemas de filtros de manga
- Monitoreo de gases en toda la planta
- Monitoreo de temperatura en toda la planta.
- Monitoreo y control de electro válvulas de toda la planta.
- Monitoreo de sensores de temperaturas en áreas de cámara de combustión, cámara de postcombustión, intercambiadores de calor y chimenea.



Figura 3.13. Componentes eléctricos y electrónicos.

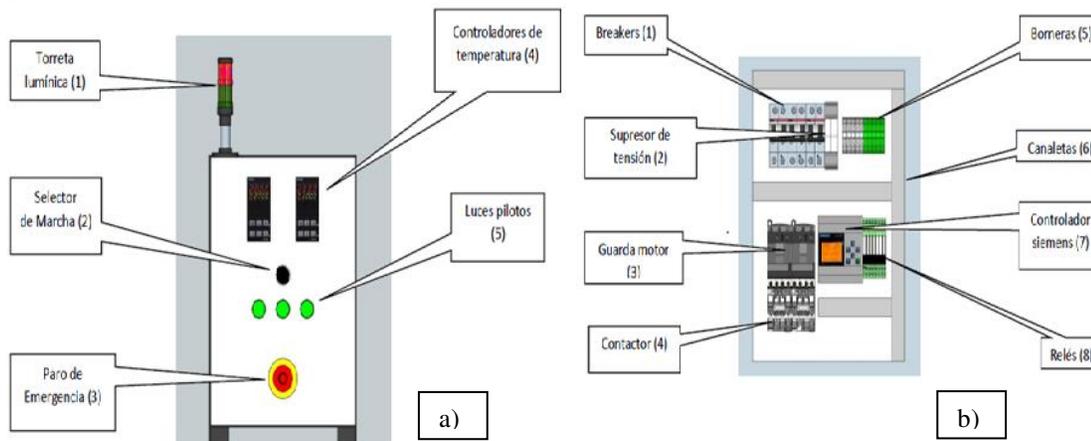


Figura 3.14. Ejemplo de gabinete para cuarto de control, exterior, a) e interior, b).

Tabla 3.21. Componentes exteriores de gabinete

Ítem	Descripción	Característica
1	Torreta Lumínica	Indica el estado en que se encuentra el incinerador, STOP-RUN.
2	Selector	Activación del Incinerador.
3	Paro de emergencia	Desactiva el proceso al ser accionado.
4	Controladores de Temperatura	Controla la Temperatura de manera Automática
5	Luces pilotos	Indican las Fallas del sistema

Tabla 3.22. Componentes interiores de gabinete

Ítem	Descripción	Características
1	Breaker	Dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica, cuando sobre pase ciertos valores máximos.
2	Supresor de tensión	Dispositivo Destinado proteger los altos picos de voltajes.
3	Guarda motor	Interruptor Termo magnético, diseñado para la protección de motores Eléctricos.
4	Contactores	Dispositivo Eléctrico de accionamiento de alta potencia.
5	Borneras	Conectores Eléctrico, utilizado para la interconexión.
6	Canaletas	Dispositivo encargado de la protección y enrutamiento de los conductores Eléctricos.
7	Controlador logo Siemens	Estará encargado de ejecutar todas las acciones del proceso de incineración.
8	Relés	Dispositivo Eléctrico de accionamiento de baja potencia

4.

### 3.8 CHIMENEA

Para el diseño final de la chimenea se pueden tomar de la tabla 3.21 y se toma en cuenta diferentes factores los cuales son los siguientes:

- El flujo que entra ya viene con una pérdida del 20% debido a los procesos del separador ciclónico y de los filtros de manga.
- La altura de la chimenea se calcula conforme a la disipación de los gases (que en su mayoría es vapor de agua) en una región cercana a la fuente de emisión, la cual corresponde a una distancia de 800 metros a la redonda.
- Como los gases salen a una temperatura de 300°C después de pasar por el filtro de mangas, lo fundamental es la capacidad de dispersión de gases que depende del diámetro que este tenga según su velocidad y retención en la chimenea.
- Está fabricada de acero al carbono y material refractario.

Tabla 3.23. Parámetros de diseño de la chimenea

Diseño de chimenea		Unidades
Caudal de salida	693	$m^3/s$
Área de la chimenea	12.6	$m^2$
Diámetro de la chimenea	4	m
Tiempo de retención en la chimenea	0.63	S
Altura de la chimenea	35	m
Velocidad de los gases	55	m/s

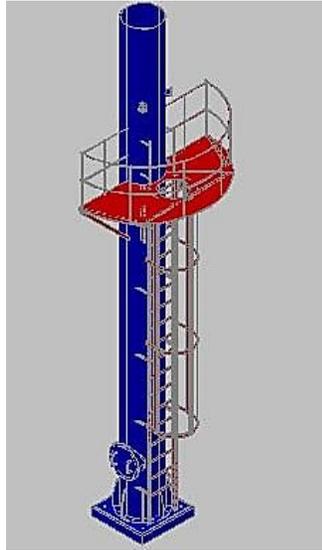


Figura 3.15. Chimenea

### **3.9 TUBERÍAS DE ACARREO**

Debido a la magnitud del proyecto nos vemos se tiene la obligación de diseñar las tuberías bajo la norma ASME B31.1 de tuberías de vapor y gases de trabajos de alto grado.

Las dimensiones y diseños de tuberías de acarreo pueden variar según el terreno y la ubicación final de los equipos, todas las tuberías estarán aisladas con silicato de calcio como revestimiento de aislamiento.

## **4. DESARROLLO DE UN INCINERADOR DE PARRILLA MÓVIL**

### **4.1 SELECCIÓN DE COMPONENTES**

#### **4.1.1 GRÚA**

La grúa es el elemento encargado de movilizar los residuos a incinerar de la fosa a la tolva. El tiempo de trabajo es cada 10 minutos para depositar en la tolva 37.5 kg de residuos a granel en un volumen de 2.5 m<sup>3</sup>. Su diseño y dimensiones podrían ser de catálogo o también puede ser fabricada localmente evaluando su costo de producción y teniendo la ventaja de diseñar a conveniencia de lo solicitado. El gancho agarrador tiene que ser elevada por un cable que es conducido por un motor eléctrico que ha sido seleccionado de acuerdo al peso del mismo y de los residuos a incinerar.

#### **4.1.2 TOLVA**

La tolva es el elemento que luego de recibir los residuos provenientes de la fosa, tiene que dosificar los mismos, por medio de algún mecanismo, los cuales serán descargados en una banda transportadora para ser incinerados. La cantidad de residuos será dosificada de forma que la banda mantenga una masa casi proporcional en el tiempo para que en una hora se incineren 2.2 toneladas.

#### **4.1.3 BANDA TRANSPORTADORA**

La banda transportadora se encargará de arrastrar los residuos a incinerar, recibiendo los mismos desde la descarga proveniente de la tolva que luego pasaran por una flama en la cámara de combustión primaria. La banda transportará los residuos desde recibirlos de la fosa hasta que se conviertan en cenizas.

La banda pasará 2.2 toneladas en 1 hora para poder completar 50 toneladas en el día. La banda se moverá accionada por un motor eléctrico.

#### **4.1.4 QUEMADORES**

Los quemadores, de los que pueden existir uno o más según el tamaño de la cámara o las temperaturas que se desean alcanzar, consisten en una boquilla donde se pulveriza el combustible a través de una bomba, en una mezcla con aire a presión, el cual se encenderá mediante una chispa producida por un sistema eléctrico parte del equipo.

Para poder producir la chispa es necesario un transformador de voltaje, la chispa se produce debido al alto voltaje en dos electrodos que se encuentran alineados y calibrados a la salida de la boquilla de pulverización de combustible y salida de aire para la combustión. Un motor eléctrico es el encargado de dar movimiento tanto a la bomba de combustible, así como al ventilador de aire.

##### **➤ Funciones de un quemador industrial**

Un quemador industrial coloca las cantidades necesarias de aire y gas para que se realice la combustión. Una de sus funciones es mezclar el aire y gas en las proporciones adecuadas, además las mantiene en constante, permite la regulación de la cantidad de aire de gas, mantiene la estabilidad de la llama, proporciona las dimensiones apropiadas para la llama dependiendo el lugar donde se efectúa la combustión, otorga un poder de radiación suficiente a la llama según la cantidad de calor o carga térmica.

Además, que por cada quemador se necesita un controlador de ignición para obtener un control de temperatura en las dos recamaras de combustión, en

este caso un recomienda conectar un controlador de temperatura en serie a la alimentación del controlador de ignición **S87D** marca Honeywell, usado por distintos fabricantes para el proceso de ignición, control de flama y medición de temperatura.

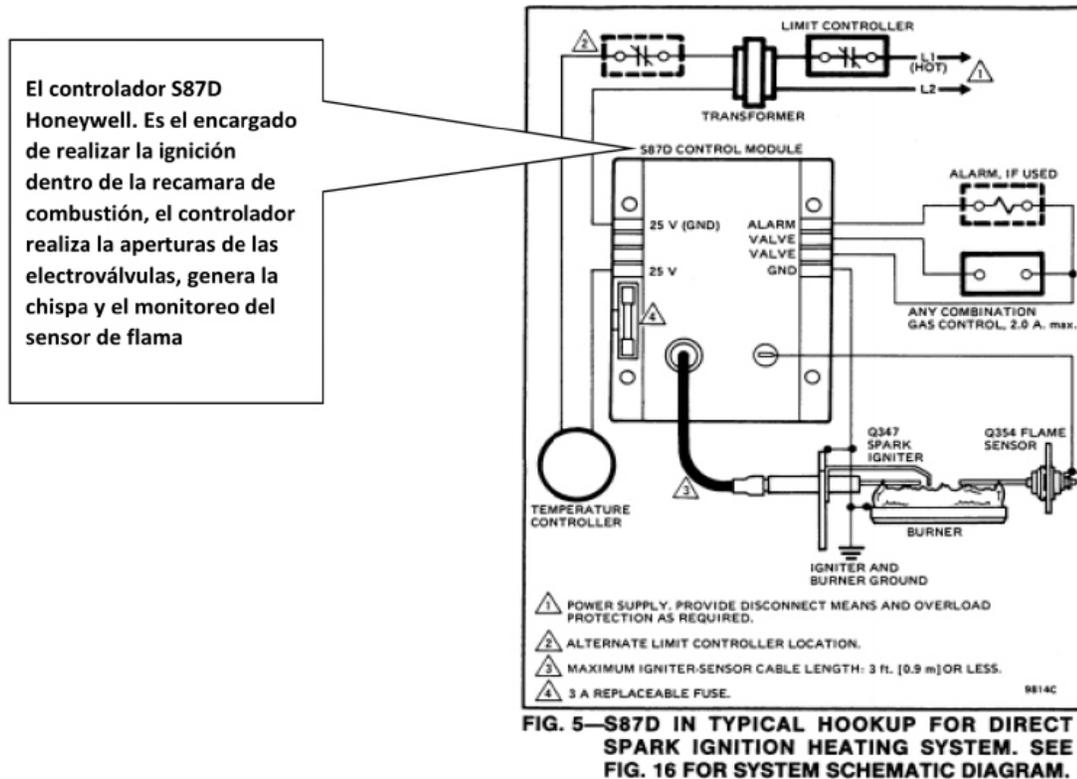


Figura 4.1. Controlador S87D Honeywell para gas propano.

### ➤ Quemador de cámara primaria

El quemador de la cámara primaria es el quemador que libera la menor cantidad de energía para llevar a la cámara de combustión primaria a 600 °C, liberando así 2,189,558.50 kJ/h. Ambos quemadores serán seleccionados de catálogo y quemaran gas propano.

#### ➤ **Quemador de cámara post combustión**

En la cámara post combustión se tiene que liberar una cantidad de energía térmica de 20, 385,778 kJ/h, es la cantidad de energía más grande que se tiene que liberar para poder quemar todos los gases provenientes de la cámara primaria. Debido a la cantidad de energía se calculó que la cantidad de quemadores para esta etapa que son de 33 quemadores instalados.

#### **4.1.5 INTERCAMBIADORES DE CALOR**

El intercambiador de calor se encargará de disminuir la temperatura de los gases que irán a la chimenea, estos gases disminuirán la temperatura de 1100 °C a 350 °C, es decir, disminuirán 750 °C.

#### **4.1.6 SEPARADOR CICLÓNICO Y FILTRO DE MANGAS**

##### ➤ **SEPARADOR CICLÓNICO**

Los separadores ciclónicos o ciclones industriales, son un sistema que depura partículas mediante el uso de la fuerza centrífuga. En nuestro caso se necesitamos uno al que se le pueda aplicar una velocidad de entrada al separador de 400 m/s y con un caudal de 1,600,000  $m^3/h$ . Esto con la finalidad de filtrar polvos o cenizas provenientes de la incineración.

##### ➤ **FILTRO DE MANGAS**

Debido a las condiciones con que los gases salgan del separador ciclónico y a la velocidad de los mismos, es necesario para la purificación de los mismos pasar por un filtro de mangas. Este separará la una cantidad o lo que queda de cenizas atrapadas entre los gases de escape del incinerador.

#### 4.1.7 PANEL DE CONTROL

En el tablero de control se encuentran los mandos para activar los distintos componentes eléctricos del incinerador.

➤ Protecciones eléctricas

Los interruptores Termomagnético F1, F2, F3, son los encargados de proteger el circuito por sobre cargas o corto circuito y el supresor de picos de voltaje SP1, se encargará de proteger el circuito por picos de voltaje que puedan afectar nuestros equipos eléctricos y electrónicos, con estas protecciones podemos alargar la vida útil a nuestros componentes de nuestro panel de control.

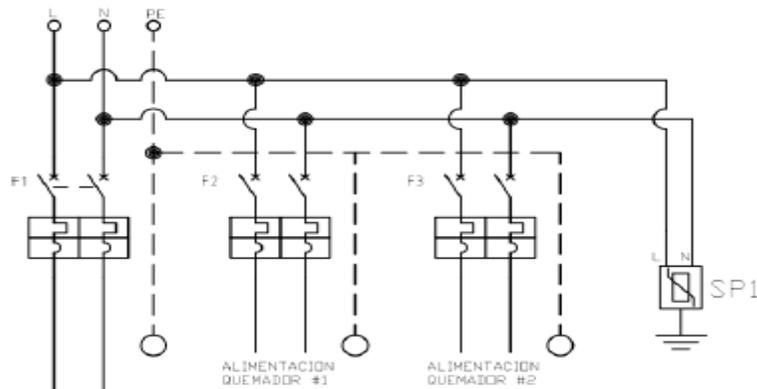


Figura 4.2. Circuito de protecciones.

El interruptor térmico F1 tiene como función proteger todo el circuito de fuerza y de control del gabinete eléctrico, los componentes de medición y de control se conectarán aguas abajo del interruptor Termomagnético F1.

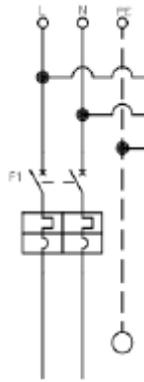


Figura 4.3. Alimentación de circuito de control y fuerza.

Los interruptores Termomagnéticos F2 y F3, su función es alimentar y proteger a los quemadores de la cámara primaria del incinerador.

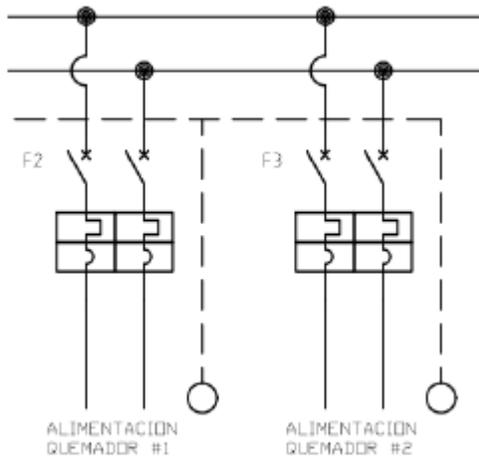


Figura 4.4. Circuito de alimentación de quemadores.

➤ **Circuito de control**

Todos los circuitos de control tomaran su alimentación aguas abajo del interruptor térmico F1, el cual se conectará a un repartidor de voltaje, para realizar las conexiones punto a punto a cada uno de los componentes eléctricos (controladores de temperatura, controlador logo Siemens, presostato, relés de control y luces de señalización).

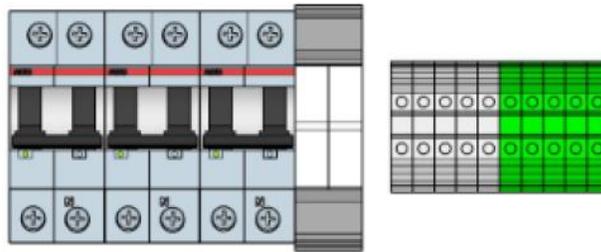


Figura 4.5. Repartidores de voltaje.

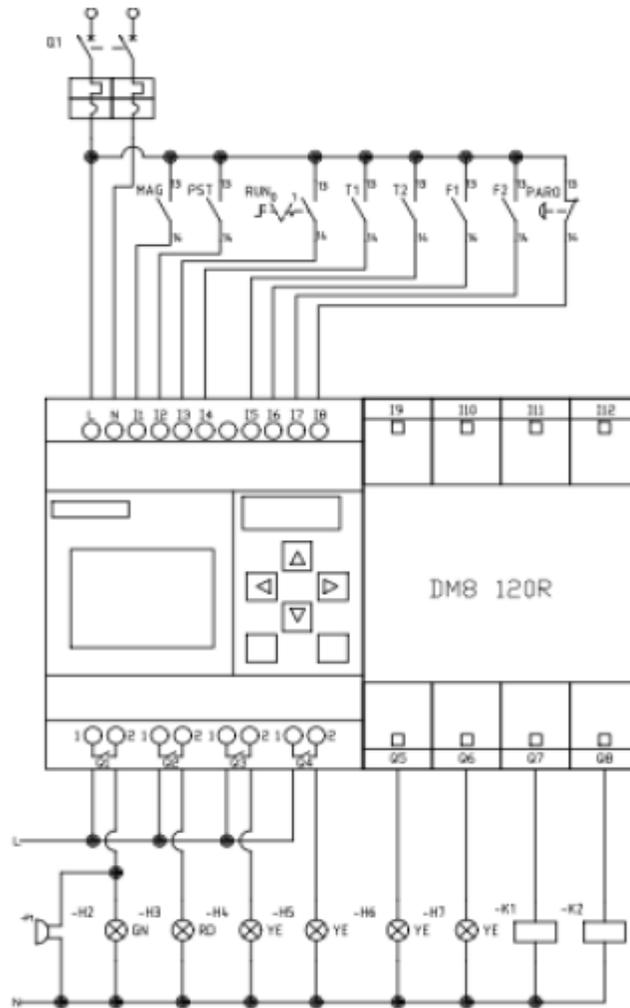


Figura 4.6. Circuito de control.

➤ Presostato

El presostato está encargado de medir la presión del flujo de gas de alimentación hacia los quemadores 1 y 2 y a su vez servirá como un elemento de



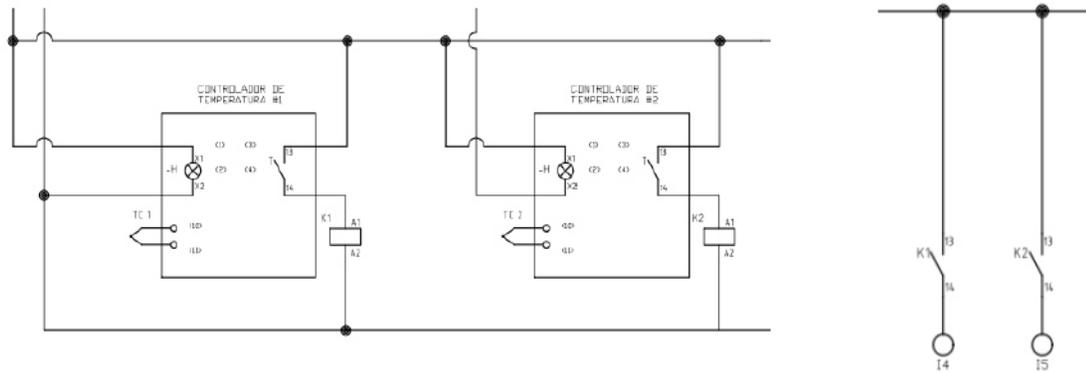


Figura 4.8. Circuito de control de temperatura.

➤ **Controlador logo Siemens**

El controlador Siemens se alimentará del distribuidor de voltaje, de la misma manera todas las señales de entrada y salidas del controlador.

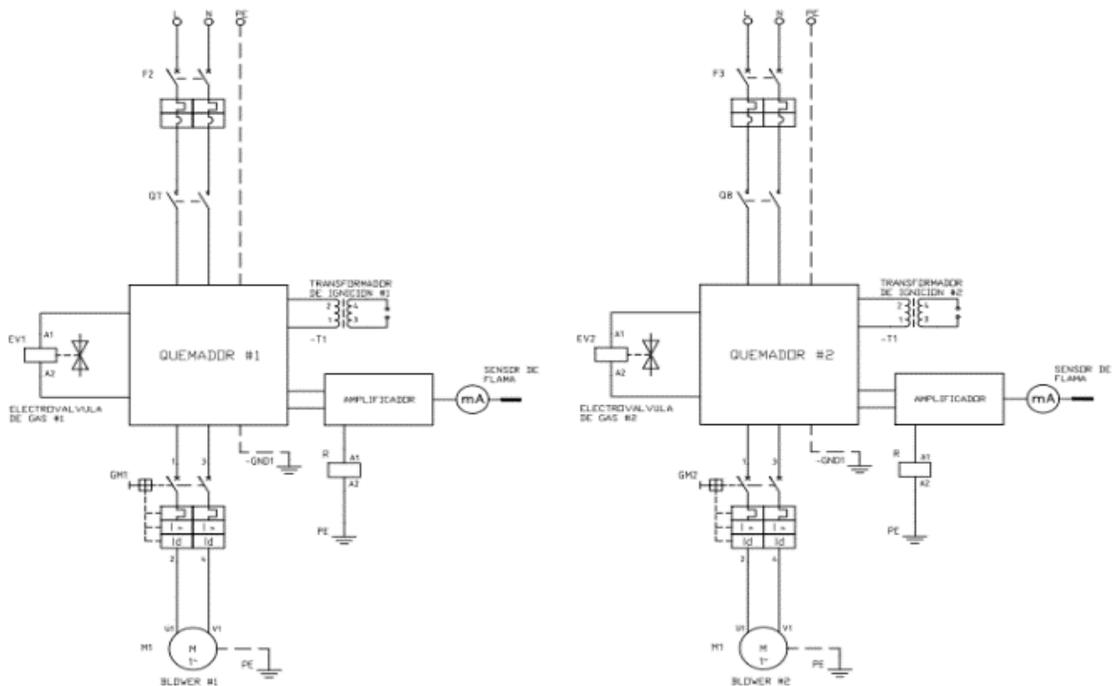


Figura 4.9. Circuito de quemador de gas

Es el encargado de realizar el control del proceso de incineración y la monitorización de las variables de proceso, todas las señales estarán conectadas al controlador y el será el encargado de ejecutar las acciones sobre los demás

componentes para lograr un buen proceso de incineración y en caso de una falla también mandara alarmar el sistema y mandara a detenerse al mismo tiempo mandara una señal lumínica indicando el fallo por el cual se mandó a detener el proceso.

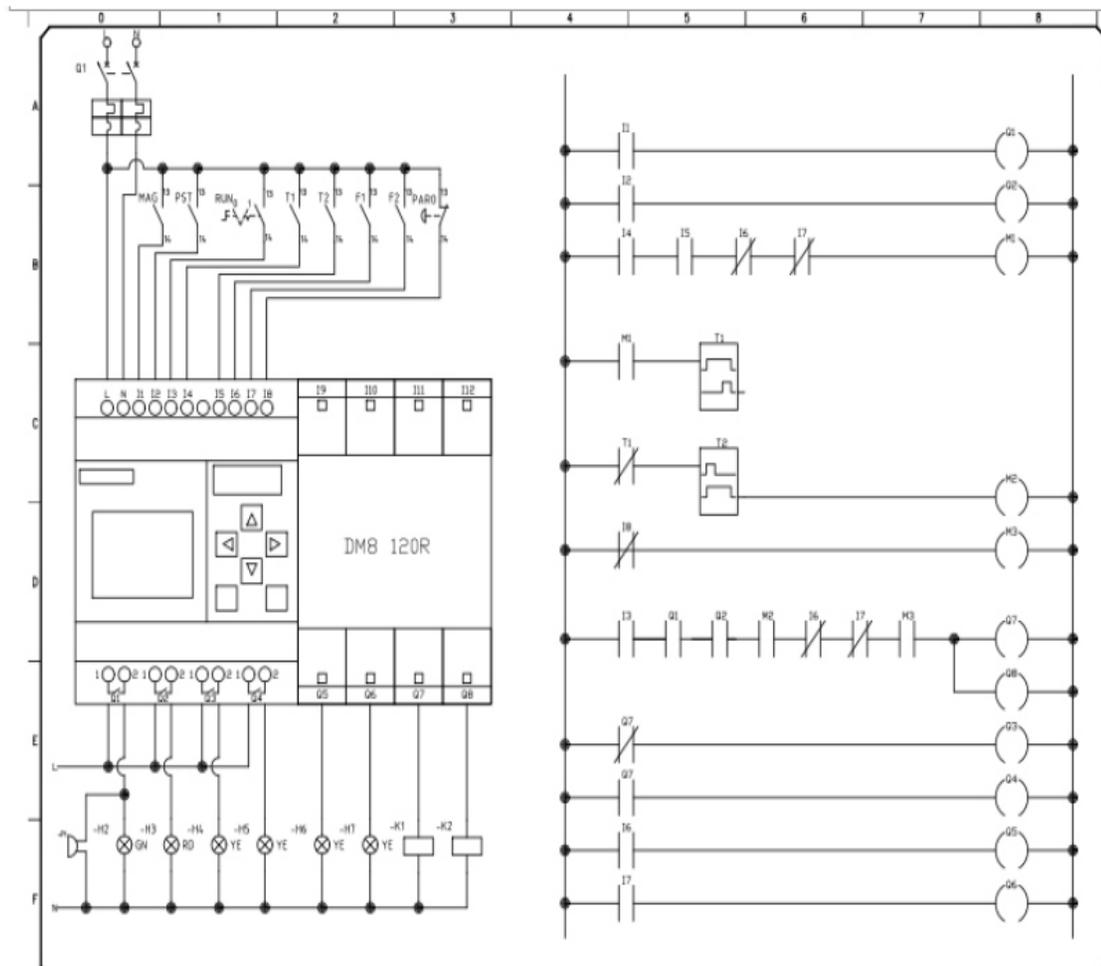


Figura 4.10. Circuito de controlador Logo.

#### 4.1.8 CHIMENEA

La chimenea es el último elemento en el que pasaran los gases del incinerador a la atmosfera, la temperatura a la cual salen es de 300 °C.

#### 4.2 DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES

### 4.2.1 GRÚA

Para la movilización de residuos de la fosa a la tolva se ha considerado una grúa tipo puente que contenga un gancho agarrador con una capacidad para de 3.25 toneladas accionado de forma electrohidráulica para un accionamiento lejano y que de igual forma el gancho sea manipulado por medio de un cable. Esta grúa puente, por medio de su gancho, ha sido seleccionada en base a un manual de la marca: CredeBlug S. L., empresa española dedicada en el área de grúas de hace años. Las características se encuentran en la sección 3.2.2 con el subtítulo de Grúa.



Figura 4.11. Grúa

#### 4.2.2 TOLVA

La tolva que se calculó, partiendo del volumen, tiene una capacidad de  $21.40 m^3$  de almacenamiento pero el volumen utilizado solo es de  $15 m^3$ , la tolva tiene 2 ángulos de inclinación para que el material baje por gravedad y que de igual forma no necesite ningún elemento adicional como algún gusano u otro para dosificar el material en la banda transportadora.

#### 4.2.3 BANDA TRANSPORTADORA

La banda transportadora está calculada de acuerdo al acero AISI 314, se divide en 4 partes siendo la primera la que acarrea residuos de la tolva a la segunda banda transportadora que es la que llevara los residuos en incineración hacia la segunda y ésta a la tercera banda con la finalidad de desalojar las cenizas de ellas. El ancho de la banda es de 2.2 m. La banda transportadora soporta un peso nominal de 2.2 toneladas distribuidas a lo largo de la misma y estará sujeta a variaciones de temperatura.

#### 4.2.4 QUEMADOR DE CÁMARA PRIMARIA



Figura 4.12. Quemador de cámara primaria

Para la cámara primaria se ha seleccionado el quemador MXS2-500, esta quemador y otros de la misma serie están contruidos con hierro fundido o aluminio hasta 800.000 Kcal / h y acero inoxidable hasta 2.000.000 Kcal / h. Sin embargo, en nuestro caso, hemos seleccionado el quemador antes descrito ya que nos da una energía calorífica de 500,000.00 kcal/h.

Información general.

Tabla 4.3. Consumo de quemador de combustible

Modelo	Kcal/h	Consumos de GLP kg/h	Consumos de metano m3/h
MXS1-200	200.000 (232 KW)	16,6	23,5
MXS1-400	400.000 (465KW)	33,33	47,05
MXS2-500	500.000 (581 KW)	41,66	58,82
MXS2-800	800.000 (939 KW)	66,66	94,11
MXS3-1200	1.200.000 (1.395 KW)	100,00	141,17
MXS3-1600	1.600.000 (1.860 KW)	133,33	188,23
MXS3-2000	2.000.000 (2325KW)	166,66	235,29

#### 4.2.5 QUEMADOR DE CÁMARA DE POSTCOMBUSTIÓN



Figura 4.13. Quemador N-BFN140-280 para el postquemador

Para la cámara post combustión se ha seleccionado un quemador que es de una versión de alta velocidad, la llama plana o a alta temperatura.

El modelo N-BFN se desarrolla en un quemador de aluminio muy resistente o hierro fundido capaz de optimizar la producción con un bajo nivel de emisiones.

Tabla 4.4 Información general de consumo de combustible quemador

Modelo	Kcal/h	Consumos de GLP kg/h	Consumos de metano m <sup>3</sup> /h
N-BFN76-30	25.800 (30 KW)	2,15	3
N-BFN76-60	51.600 (60 KW)	4,3	6
N-BFN76-90	77.400 (90 KW)	6,5	9,10
N-BFN102-145	124.000 (145 KW)	10,40	14,70
N-BFN102-210	180.000 (210 KW)	15,05	21,25
N-BFN140-280	240.800 (280 KW)	20,06	28,32
N-BFN140-370	318.200 (370 KW)	26,51	37,43
N-BFN170-465	400.000 (465 KW)	33,33	47,05
N-BFN170-580	500.000 (580 KW)	41,66	58,82

La cámara post combustión tiene que tener 33 quemadores de 240,800 kcal/h para quemar los gases que salen de la cámara primaria, con la finalidad de no contaminar el ambiente.

#### 4.2.6 SEPARADOR CICLÓNICO

El secador ciclónico es un elemento que no puede ser seleccionado de catálogo, sin embargo, fue calculado para tener en la entrada una velocidad de gases de 400 m/s con un caudal de 1,600,000  $m^3/h$ , el material de fabricación es el acero al carbono y sus dimensiones generales son de una altura de 11.93 m y de diámetro de 2.98 m.

#### **4.2.7 COLECTOR DE GASES**

El colector de gases es un elemento que se tomó debido a la cantidad de elementos que salen del separador ciclónico y que llevan de destino el filtro de mangas. Este elemento fue diseñado y sus datos se describen en el apartado 3.6.4.

#### **4.2.8 FILTRO DE MANGAS**

Este elemento fue seleccionado de catálogo, el cual está constituido por 24 módulos, dando las características presentes en la sección 3.6.5. Es un elemento sacado de catálogo con el modelo NTVA22X0825 marca TAMA, que tiene una presión de 8.9 bar con 4 paneles de ventilación. La velocidad de flujo de gases es de 199 m/s.

#### **4.2.9 CHIMENEA**

La chimenea tiene que soportar una temperatura de salida de gases de 300 °C, es por ello que los materiales a utilizar para su fabricación tienen que ser acero al carbón y adobar el interior con material refractario, las dimensiones de la chimenea van en función de la disipación de gases.

### **4.3 CRITERIOS PARA UBUCACIÓN DE UN INCINERADOR**

En puntos anteriores se habló de requerimientos generales para un incinerador, en este apartado profundizaremos los requerimientos que tenemos que tener en 3 puntos clave, en los generales para el incinerador propuesto, los requerimientos que se tienen que tener para el caso de ser instalado, tanto en ubicación, y fundamentalmente sin entorpecer ni poner en riesgo la salud y

actividades que se llevan a cabo en un radio de 800 metros del punto de emisión de gases (Chimenea).

#### **4.3.1 REQUERIMIENTO DE UBICACIÓN DE UNA INCINERADORA DE PARRILLA MÓVIL**

Para la ubicación de la incineradora de parrillas móviles propuestas debemos tener presente lo siguiente:

- Área disponible: debe existir un área que sea en un espacio abierto, en el cual se pueda producir tanto la instalación del proyecto como espacio para el pretratamiento o separación de desechos.
- Disponibilidad de servicios: dentro del sitio de ubicación selecto debe existir los servicios de: agua potable, energía eléctrica, drenaje, líneas telefónicas.
- Rutas de acceso y retención de desechos.
- Debido al manejo de materiales inflamables tiene que ser un espacio aislado.
- Debe contener una base sólida y firme.
- Permitir el desplazamiento alrededor de la incineradora de forma fácil y segura.

#### **4.3.2 ESTUDIO DEL SITIO**

Dado a los requerimientos antes mencionados y estudiando los espaciamientos de los lugares de transferencia de basura junto a algunos lugares de incineración se puede tener una idea acerca del lugar que se necesita para montar una planta incineradora, es decir, contar con un espacio suficiente y aislado de casas de habitación alrededor de la planta. Todo eso ya que este trabajo no ha contemplado diferentes puntos adicionales al incinerador, por ejemplo, sistemas de tratamiento de agua, aprovechamiento de energía térmica, etc.

## 5. COSTOS DEL PROYECTO

### 5.1 COSTOS TOTALES.

En la tabla 5.1 se encuentra los montos globales del proyecto divididos en tres categorías.

Tabla 5.1. costos totales de fabricación, instalación y O&M

PROPUESTA DE UNA PLANTA DE INCINERACIÓN DE DESECHOS ORGÁNICOS DE PARRILLA MÓVIL CON SISTEMA DE TRATAMIENTOS DE GASES DE CAPACIDAD DE 2.2 TON/H					
Ítem	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	COSTOS DE FABRICACIÓN DE PLANTA INCINERADORA	SG	1	\$ 7,430,732.00	\$ 7,430,732.00
2	COSTO DE INSTALACION DE PLANTA INCINERADORA	SG	1	\$ 6,976,153.00	\$ 6,976,153.00
3	COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (O&M)	SG	1	\$ 446,705.67	\$ 446,705.67
Total de las obras					\$ 14,853,590.67

5.

## 5.2 COSTOS DE FABRICACIÓN

En las tablas 5.2 al 5.5 se detallan la estimación del posible costo de fabricación de las partes más esenciales con las cuales cuentan la planta de incineración.

Tabla 5.2. Costos de fabricación parte I.

<b>PROPUESTA DE UNA PLANTA DE INCINERACIÓN DE DESECHOS ORGÁNICOS DE PARRILLA MÓVIL CON SISTEMA DE TRATAMIENTOS DEGASES DE CAPACIDAD DE 2.2 TON/H</b>				
<b>PERFIL BÁSICO DE PROYECTO INCINERADOR DE PARRILLA MÓVIL</b>				
Fecha de solicitud:		Técnico(a)		
N° de línea presupuestaria:		Nombre de la actividad	<b>COSTOS DE FABRICACIONES</b>	
Fecha de la actividad:		Lugar:		
Participación prevista:				
Justificación				
Objetivos				
Costo total de esta obra		<b>\$7,430,732.00</b>		
ITEM	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO DE FABRICACION
<b>1.0 SISTEMA DE ALIMENTACION</b>				
1.1	FOSA DE 12 X 20 X 6 METROS CON TRATAMIENTOS DE LIXIVIADOS.		1	\$ 200,000.00
1.2	COMPRA DE GRUA PUENTE DE CAPACIDADDE 2.5 m <sup>3</sup>		1	\$ 12,000.00
1.3	tolva con capacidad de 21m <sup>3</sup>		1	\$ 9,000.00
1.4	banda transportadora de 2 x 3 metros según especificaciones de planos		1	\$ 3,720.00
1.5	infraestructura de 30 x 20 metros según especificaciones (Galera y cuarto de control)		1	\$ 100,000.00
<b>2.0 CAMARA DE COMBUSTIÓN</b>				
2.1	cámara de combustión de capacidad de 2.2ton/h de 10 x 2.5 x 2.5 metros de material refractario		1	\$ 154,800.00

Tabla 5.3. costos de fabricación parte II

<b>PROPUESTA DE UNA PLANTA DE INCINERACIÓN DE DESECHOS ORGÁNICOS DE PARRILLA MÓVIL CON SISTEMA DE TRATAMIENTOS DEGASES DE CAPACIDAD DE 2.2 TON/H</b>				
<b>PERFIL BÁSICO DE PROYECTO INCINERADOR DE PARRILLA MÓVIL</b>				
Fecha de solicitud:		Técnico(a)		
N° de línea presupuestaria:		Nombre de la actividad	<b>COSTOS DE FABRICACIONES</b>	
Fecha de la actividad:		Lugar:		
Participación prevista:				
Justificación				
Objetivos				
Costo total de esta obra		\$	<b>7,430,732.00</b>	
2.2	banda transportadora de desechos de 2.5 x 3		2	\$ 7,440.00
2.3	banda transportadora de desechos de 2.5 x 4		1	\$ 5,500.00
2.4	tanque de escoria de incineración de acero inoxidable		1	\$ 700.00
2.5	compra de quemador y sistema de inyección de combustible.	$m^3/h$	1	\$ 1,500.00
2.6	compra de ventilador centrífugo de 18600		2	\$ 2,400.00
2.7	compra de sensores, medidores y accesorios de control		10	\$ 3,500.00
2.8	estructura de soporte de cámara primaria		1	\$ 150,000.00
<b>3.0 CÁMARA POSTCOMBUSTIÓN</b>				
3.1	cámara de postcombustión de 19 metros de diámetro y 13 metros de alto con material refractario.		1	\$ 807,188.00
3.2	quemadores y sistema de inyección de combustible		33	\$ 39,600.00
3.3	compra de ventiladores centrífugos modelo CM Clase III de 375,000	$m^3/h$	3	\$ 16,500.00
3.4	Tanque de ceniza de caldera.		1	\$ 500.00

Tabla 5.4. Costos de fabricación parte III.

<b>PROPUESTA DE UNA PLANTA DE INCINERACIÓN DE DESECHOS ORGÁNICOS DE PARRILLA MÓVIL CON SISTEMA DE TRATAMIENTOS DE GASES DE CAPACIDAD DE 2.2 TON/H</b>				
<b>PERFIL BÁSICO DE PROYECTO INCINERADOR DE PARRILLA MÓVIL</b>				
Fecha de solicitud:		Técnico(a)		
N° de línea presupuestaria:		Nombre de la actividad	<b>COSTOS DE FABRICACIONES</b>	
Fecha de la actividad:		Lugar:		
Participación prevista:				
Justificación				
Objetivos				
Costo total de esta obra		<b>\$ 7,430,732.00</b>		
3.5	estructura de soporte de cámara postcombustión		1	\$ 200,000.00
<b>4.0 SISTEMA DE TRATAMIENTOS DE GASES</b>				
4.1	Intercambiador de calor de coraza y tubos de 8 metros de diámetro y de 20 metros de largo, enfriamiento por agua		4	\$ 4,955,384.00
4.2	Separadores ciclónicos según especificación de planos		4	\$ 260,000.00
4.3	Exclusas para separador ciclónico		4	\$ 2,000.00
4.4	Módulo NTVA22x0825 filtros de manga		24	\$ 18,000.00
4.5	Estructura de soporte para intercambiador de calor		4	\$ 96,000.00
4.6	colector de 10 metros de diámetro y 20 metros de largo		4	\$ 180,000.00
<b>5.0 CHIMENEA</b>				
5.1	Fabricación de chimenea cónica de 35 metros de alto x 4 metros de diámetro en base		2	\$ 120,000.00
5.2	Ventilador centrifugo en base de chimenea de 18600	$m^3/h$	1	\$ 1,200.00
5.3	Fabricación de soporte y sujeción de chimenea		2	\$ 70,000.00

Tabla 5.5. costos de fabricación parte IV.

<b>PROPUESTA DE UNA PLANTA DE INCINERACIÓN DE DESECHOS ORGÁNICOS DE PARRILLA MÓVIL CON SISTEMA DE TRATAMIENTOS DEGASES DE CAPACIDAD DE 2.2 TON/H</b>				
<b>PERFIL BÁSICO DE PROYECTO INCINERADOR DE PARRILLA MÓVIL</b>				
Fecha de solicitud:		Técnico(a)		
N° de línea presupuestaria:		Nombre de la actividad	<b>COSTOS DE FABRICACIONES</b>	
Fecha de la actividad:		Lugar:		
Participación prevista:				
Justificación				
Objetivos				
Costo total de esta obra		<b>\$ 7,430,732.00</b>		
<b>6.0 OTROS</b>				
6.1	Tubería de conexión de cámara de combustión a cámara postcombustión según norma ASME B31.1 con revestimiento de sílice de calcita		1	\$ 5,000.00
6.2	tubería de conexión de cámara postcombustión a intercambiador de calor con accesorios y revestimiento de sílice de calcita		4	\$ 4,400.00
6.3	Tubería de conexión de intercambiador de calor a separador ciclónico con accesorios y revestimiento de silicato de calcita		4	\$ 4,400.00
6.4	Tubería de separador ciclónico a colector de gases		4	\$ 4,400.00
6.5	Tubería de colector a módulos de filtros de manga y de filtros a colector de 20" de diámetro cedula XS norma ASME B 31.1 con revestimiento		96	\$ 22,560.00
6.6	Tubería de colector a chimenea		2	
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>\$ 7,457,692.00</b>

### **5.3 COSTO DE INSTALACIÓN**

Para la estimación de los costos de instalación se englobaron los trabajos a realizar en los costos según su categoría las cuales son por obras civiles, mecánicas y eléctricas de la cual el monto por sección de la planta se describe en las tablas 5.6 y 5.7 y se define que trabajos se tendrían que ejecutar por cada categoría según el sub sistema de la planta.

#### **5.3.1 ZONA DE ALIMENTACIÓN**

- Obras civiles: En este apartado se encuentra los costos generados por los trabajos de cimentación de galera, terracería, losa de fundación, impermeabilización de suelo.
- Obras mecánicas: Los trabajos de instalación que se llevan a cabo son cortes, soldaduras y montajes de barandales, colocación de vigas, columnas, montaje de lámina y estructura metálica (grúa puente y banda de alimentación para horno de combustión)
- Obras eléctricas: Instalación de luminarias, sistema eléctrico de grúa puente, sistema eléctrico de banda de alimentación, sistemas de seguridad, todos los sistemas de monitoreo y control del cuarto de operaciones.

#### **5.3.2 CÁMARA DE COMBUSTIÓN**

- Obras civiles: Elaboración de zapatas, trabajos de terracería, planos y supervisión de estructuras de soporte de la cámara de combustión.
- Obras mecánicas: Montaje y construcción de cámara de combustión, montaje y construcción de estructuras metálicas, montaje de tubería hacia cámara postcombustión con revestimiento de silicato de calcio.

- Obras eléctricas: Montaje e instalación de controladores y sensores de monitoreo e instalaciones eléctricas de bombas, chisperos y sistemas de seguridad.

### **5.3.3 CÁMARA DE POSTCOMBUSTIÓN**

- Obras civiles: Elaboración de zapatas, trabajos de terracería, planos y supervisión de estructuras de soporte de la cámara de combustión.
- Obras mecánicas: Montaje y construcción de cámara de postcombustión, montaje y construcción de estructuras metálicas, montajes de tuberías con revestimiento de silicato de calcio, construcción y montaje de soportes para tuberías de gases.
- Obras eléctricas: Montaje e instalación de controladores y sensores de monitoreo e instalaciones eléctricas de bombas, chisperos y sistemas de seguridad.

### **5.3.4 SISTEMAS DE TRATAMIENTOS DE GASES**

- Obras civiles: Elaboración de zapatas, trabajos de terracería, planos y supervisión de estructuras de soporte.
- Obras mecánicas: Montajes de intercambiadores de calor, separadores ciclónicos, colectores de gases, módulos de filtro de mangas y tuberías de acarreo de gases con conexiones entre cada elemento del sistema de tratamiento de gases.
- Obras eléctricas: Instalaciones de sensores, iluminación y controladores del sistema.

### **5.3.5 CHIMENEA**

- Obras civiles: Elaboración de cimiento para chimeneas.
- Obras mecánicas: Montaje y construcción de chimeneas con material refractarios.
- Obras eléctricas: Instalación de control de compuerta de emisión de gases, controladores y sensores

### **5.3.6 OTROS**

- Costos misceláneos: Todos aquellos costos administrativos e indirectos al proyecto.
- Obras mecánicas: Pruebas realizadas a puntos de soldaduras y a estructuras metálicas.

Tabla 5.6. Costos de instalación parte I

<b>PROPUESTA DE UNA PLANTA DE INCINERACIÓN DE DESECHOS ORGÁNICOS DE PARRILLA MÓVIL CON SISTEMA DE TRATAMIENTOS DEGASES DE CAPACIDAD DE 2.2 TON/H</b>				
<b>PERFIL BÁSICO DE PROYECTO INCINERADOR DE PARRILLA MÓVIL</b>				
Fecha de solicitud:		Técnico(a)		
N° de línea presupuestaria:		Nombre de la actividad	<b>COSTOS DE INSTALACION</b>	
Fecha de la actividad:		Lugar:		
Participación prevista:				
Justificación				
Objetivos				
Costo total de esta obra		<b>\$ 6,976,153.00</b>		
ITEM	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO DE OBRA CONINDIRECTO
<b>1.0 SISTEMA DE ALIMENTACION</b>				
1.1	OBRAS CIVILES		1	\$ 81,030.00
1.2	OBRAS MECANICAS		1	\$ 25,000.00
1.3	OBRAS ELECTRICAS		1	\$ 5,000.00
<b>2.0 CAMARA DE COMBUSTIÓN</b>				
2.1	OBRAS CIVILES		1	\$ 96,460.00
2.2	OBRAS MECANICAS		1	\$ 45,000.00
2.3	OBRAS ELECTRICAS		1	\$ 10,000.00
<b>3.0 CAMARA POSTCOMBUSTIÓN</b>				
3.1	OBRAS CIVILES		1	\$ 265,947.00
3.2	OBRAS MECANICAS		1	\$ 45,000.00

Tabla 5.7. costos de instalación parte II.

<b>PROPUESTA DE UNA PLANTA DE INCINERACIÓN DE DESECHOS ORGÁNICOS DE PARRILLA MÓVIL CON SISTEMA DE TRATAMIENTOS DE GASES DE CAPACIDAD DE 2.2 TON/H</b>				
<b>PERFIL BÁSICO DE PROYECTO INCINERADOR DE PARRILLA MÓVIL</b>				
Fecha de solicitud:		Técnico(a)		
N° de línea presupuestaria:		Nombre de la actividad	<b>COSTOS DE INSTALACION</b>	
Fecha de la actividad:		Lugar:		
Participación prevista:				
Justificación				
Objetivos				
Costo total de esta obra		<b>\$ 6,976,153.00</b>		
3.3	OBRAS ELECTRICAS		1	\$ 1,000.00
<b>4.0 SISTEMA DE TRATAMIENTOS DE GASES</b>				
4.1	OBRAS CIVILES		1	\$ 1,837,128.00
4.2	OBRAS MECANICAS		1	\$ 4,133,538.00
4.3	OBRAS ELECTRICAS		1	\$ 2,500.00
<b>5.0 CHIMENEA</b>				
5.1	OBRAS CIVILES		1	\$ 47,800.00
5.2	OBRAS MECANICAS		1	\$ 15,000.00
5.3	OBRAS ELECTRICAS		1	\$ 750.00
<b>6.0 OTROS</b>				
6.1	COSTOS MISELANEOS		1	\$ 15,000.00
6.2	OBRAS MECANICAS		1	\$ 350,000.00
	<b>COSTO TOTAL</b>			<b>\$ 6,976,153.00</b>

## 5.4 COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

En la tabla 5.8 y 5.9 se muestra un estimado de costos y mantenimientos mensuales que se podrían producir en una planta de incineración.

Tabla 5.8. costos de operación y mantenimiento parte I.

PROPUESTA DE UNA PLANTA DE INCINERACIÓN DE DESECHOS ORGÁNICOS DE PARRILLA MÓVIL CON SISTEMA DE TRATAMIENTOS DEGASES DE CAPACIDAD DE 2.2 TON/H							
PERFIL BÁSICO DE PROYECTO INCINERADOR DE PARRILLA MÓVIL							
Fecha de solicitud:		Técnico(a)					
N° de línea presupuestaria:		Nombre de la actividad		COSTOS DE O&M			
Fecha de la actividad:		Lugar:					
Participación prevista:							
Justificación							
Objetivos							
Costo total de esta obra		<b>\$ 446,705.67</b>					
ITEM	Cargo	Cantidad	Salario neto (\$)	AFP (\$)	ISSS (\$)	Retención de renta (\$)	Salario a recibir mensualmente (\$)
<b>1.0 Personal administrativo</b>							
1.1	Gerente general	1	\$ 1,500.00	\$ 108.75	\$ 30.00	\$ 300.00	\$ 1,061.25
1.2	Gerente administrativo	1	\$ 1,200.00	\$ 87.00	\$ 30.00	\$ 240.00	\$ 843.00
1.3	Recursos humanos	1	\$ 900.00	\$ 65.25	\$ 30.00	\$ 180.00	\$ 624.75
1.4	Personal administrativo	10	\$ 450.00	\$ 32.63	\$ 13.50	\$ 45.00	\$ 3,588.75
<b>2.0 Personal técnico</b>							
2.1	Ingeniero Mecánico	1	\$ 1,200.00	\$ 87.00	\$ 30.00	\$ 240.00	\$ 843.00
2.2	Ingeniero Electricista	1	\$ 1,200.00	\$ 87.00	\$ 30.00	\$ 240.00	\$ 843.00
2.3	Ingeniero Industrial	1	\$ 1,200.00	\$ 87.00	\$ 30.00	\$ 240.00	\$ 843.00
2.4	Técnico electricista	2	\$ 800.00	\$ 58.00	\$ 24.00	\$ 80.00	\$ 476.00
2.5	Operador de grúa diurno	1	\$ 500.00	\$ 36.25	\$ 15.00	\$ 50.00	\$ 398.75
2.6	Operador de grúa turno nocturno	1	\$ 700.00	\$ 50.75	\$ 21.00	\$ 70.00	\$ 558.25
2.7	Operador de planta diurno	1	\$ 500.00	\$ 36.25	\$ 15.00	\$ 50.00	\$ 398.75

Tabla 5.9. costos de operación y mantenimiento parte II.

<b>PROPUESTA DE UNA PLANTA DE INCINERACIÓN DE DESECHOS ORGÁNICOS DE PARRILLA MÓVIL CON SISTEMA DE TRATAMIENTOS DEGASES DE CAPACIDAD DE 2.2 TON/H</b>							
<b>PERFIL BÁSICO DE PROYECTO INCINERADOR DE PARRILLA MÓVIL</b>							
Fecha de solicitud:		Técnico(a)					
N° de línea presupuestaria:		Nombre de la actividad		<b>COSTOS DE O&amp;M</b>			
Fecha de la actividad:		Lugar:					
Participación prevista:							
Justificación							
Objetivos							
Costo total de esta obra		<b>\$ 446,705.67</b>					
2.8	Operador de planta nocturno	1	\$ 700.00	\$ 50.75	\$ 21.00	\$ 70.00	\$ 558.25
2.9	Técnico mecánico	1	\$ 800.00	\$ 58.00	\$ 24.00	\$ 80.00	\$ 638.00
	Técnico mecánico nocturno	1	\$ 1,000.00	\$ 72.50	\$ 30.00	\$ 200.00	\$ 697.50
<b>3.0 Operación y mantenimiento</b>							
3.1	Consumo eléctrico	1	\$ 8,029.42	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 8,029.42
3.2	Consumo de combustible	1	\$ 408,304.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 408,304.00
3.3	Consumo de agua	1	\$ 2,000.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 2,000.00
3.4	Insumo de personal	1	\$ 1,000.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 1,000.00
3.5	Mantenimientos	1	\$ 15,000.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 15,000.00
	<b>COSTO TOTAL</b>						<b>\$ 446,705.67</b>

## Conclusiones

- Al finalizar todo el proceso de diseño de una planta incineradora se concluye que, a nivel de reducción de volumen en los desechos, es una opción muy viable ya que aproximadamente solo queda un 6% del volumen másico entrante, lo que equivale para este diseño que de 50 toneladas diarias se reduce a 3 toneladas de cenizas.
- En El Salvador la mayoría de la población no sabe cómo poder hacer un adecuado manejo de sus desechos sólidos, por lo cual provoca una gran preocupación, ya que a medida pasa el tiempo la generación de estos es mayor y por medio de estos proyectos se puede hacer una buena disposición final del cual no tengamos que deteriorar el ecosistema, siempre y cuando se generen de forma responsable, controlada y con un buen sistema de tratamiento de la emisión de gases.
- Se puede concluir que el poder energético concentrados en los desechos sólidos urbanos se puede considerar como muy útil para poder generar un aprovechamiento de ella por medio de los intercambiadores de calor con la que esta cuenta.

- Para el caso de este proyecto podemos concluir que a nivel económico la inversión que se tiene que generar es bastante grande pero que conforme al tiempo que transcurre, más fácil, práctico y económico se puede volver la adquisición de tecnología que ayuden a poder hacer de los costos un poco más factibles.
- Dentro de la elaboración de este documento se han tomado en cuenta los componentes principales por el cual está constituido una de estas plantas, dejando así de lado muchos componentes o accesorios de los cuales toda planta de manejo de gases y vapores tiene que contar.
- Para una municipalidad como la de San Salvador, la tasa de RSU estimada por día es de aproximadamente de 1800 toneladas diarias, según información recopilada en todo el AMSS. Por lo cual un proyecto de este tipo podría brindar una solución de reducción de volumen y a su vez un beneficio ya que la energía que contienen estos puede ser reutilizada.

## Recomendaciones

- Para el caso del diseño de este proyecto se puede recomendar la reutilización del calor para poder mejorar la eficiencia de los hornos por medio del calentamiento del aire que entra a las cámaras para generar la combustión, utilizando la energía de los intercambiadores de calor de flujo cruzado.
- La elaboración de este proyecto fue con el objetivo de diseñar una planta incineradora de desechos orgánicos, pero no podemos pasar por alto el alto contenido en potencial térmico con el cual este cuenta a la hora de que los gases de salida pasan por el intercambiador de calor que es aproximadamente de 412.47 MWth, la eficiencia global de las plantas de generación eléctrica basada en incineración y turbinas de vapor es de 15% al 24% aproximadamente, lo que significa que puede ser en potencial eléctrico de 61.87 MWe a 99MWe, por lo que se recomienda tener en cuenta a la hora de llevar a cabo un estudio o la ejecución de una planta de incineración, evaluar el potencial útil que este puede generar y buscarle un aprovechamiento.

## Bibliografía

- Convención de Estocolmo. (2019). *Directrices sobre mejoras técnicas disponibles*. Ginebra.
- Convención de Estocolmo. (2008). *directrices sobre mejores técnicas disponibles y orientación provisional sobre mejores prácticas ambientales*. (S. d. persistentes, Ed.) Ginebra, Suiza: SRO-Kundig - Ginebra. Recuperado el 10 de septiembre de 2020
- INCINEROX. (20 de noviembre de 2017). *INCINEROX*. Recuperado el 7 de septiembre de 2020, de <https://www.incinerox.com.ec/>:  
<https://www.incinerox.com.ec/la-importancia-de-la-incineracion-de-residuos/?unapproved=170&moderation-hash=1f94bc04722741a13f4f6d728e2e18c0#comment-170>
- KERN, D. Q. (1999). *PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR*. CECSA.
- Mancía, L. M. (Ed.). (abril de 2017). *Manejo de los residuos sólidos comunes UES*. Recuperado el 6 de septiembre de 2020, de Repositorio Institucional de la Universidad de El Salvador: <http://ri.ues.edu.sv/>
- MARN. (2009). *Residuos sólidos*. Recuperado el 6 de septiembre de 2020, de Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales:  
<https://www.marn.gob.sv/residuos-solidos/?wpdmdl=&refresh=5f550be230a761599409122>
- MARN. (Setiembre de 2012). *Ministerio de Medio Ambiente y Recurso Naturales*. Recuperado el 6 de septiembre de 2020, de

<https://www.marn.gob.sv/>: <https://www.marn.gob.sv/wp-content/uploads/Plan-Nacional-de-Implementacio%CC%81n-del-Convenio-de-Estocolmo.pdf>

MARN. (10 de octubre de 2019). *Centro de Información y Documentación*. (M.

d. Naturales, Ed.) Recuperado el 10 de septiembre de 2020, de

<http://cidoc.marn.gob.sv/>:

<http://cidoc.marn.gob.sv/documentos/programa-nacional-para-el-manejo-integral-de-los-desechos-solidos-plan-para-el-mejoramiento-del-manejo-de-desechos-solidos-en-el-salvador/#>

Perry, R. H. (1993). *Manual del ingeniero Químico*. Limusa.

SAICM. (2009). *Guía para las ONG sobre los COPS*. Recuperado el 8 de

septiembre de 2020, de <https://ipen.org/>:

[https://ipen.org/sites/default/files/documents/ngo\\_guide\\_pops-es.pdf](https://ipen.org/sites/default/files/documents/ngo_guide_pops-es.pdf)

Salvador, A. R., & Universidad Complutense de Madrid. (2010). *LA*

*INCINERADORA DE RESIDUOS: ¿ESTÁ JUSTIFICADO?* (A. R.

Salvador, Ed.) Recuperado el 10 de septiembre de 2020, de

<http://www.rac.es/>: <http://www.rac.es/ficheros/doc/00913.pdf>

Tchobanoglous, G. (s.f.). *Gestión Integral De Residuos Sólidos*. McGraw Hill.

Unión Europea. (2017). *Transformación de los residuos en energía*.

Recuperado el 6 de septiembre de 2020, de <https://ec.europa.eu/>:

<https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2017/ES/COM-2017-34-F1-ES-MAIN-PART-1.PDF>

Sumitomo Drive Technologies, Catálogo Motorreductores.

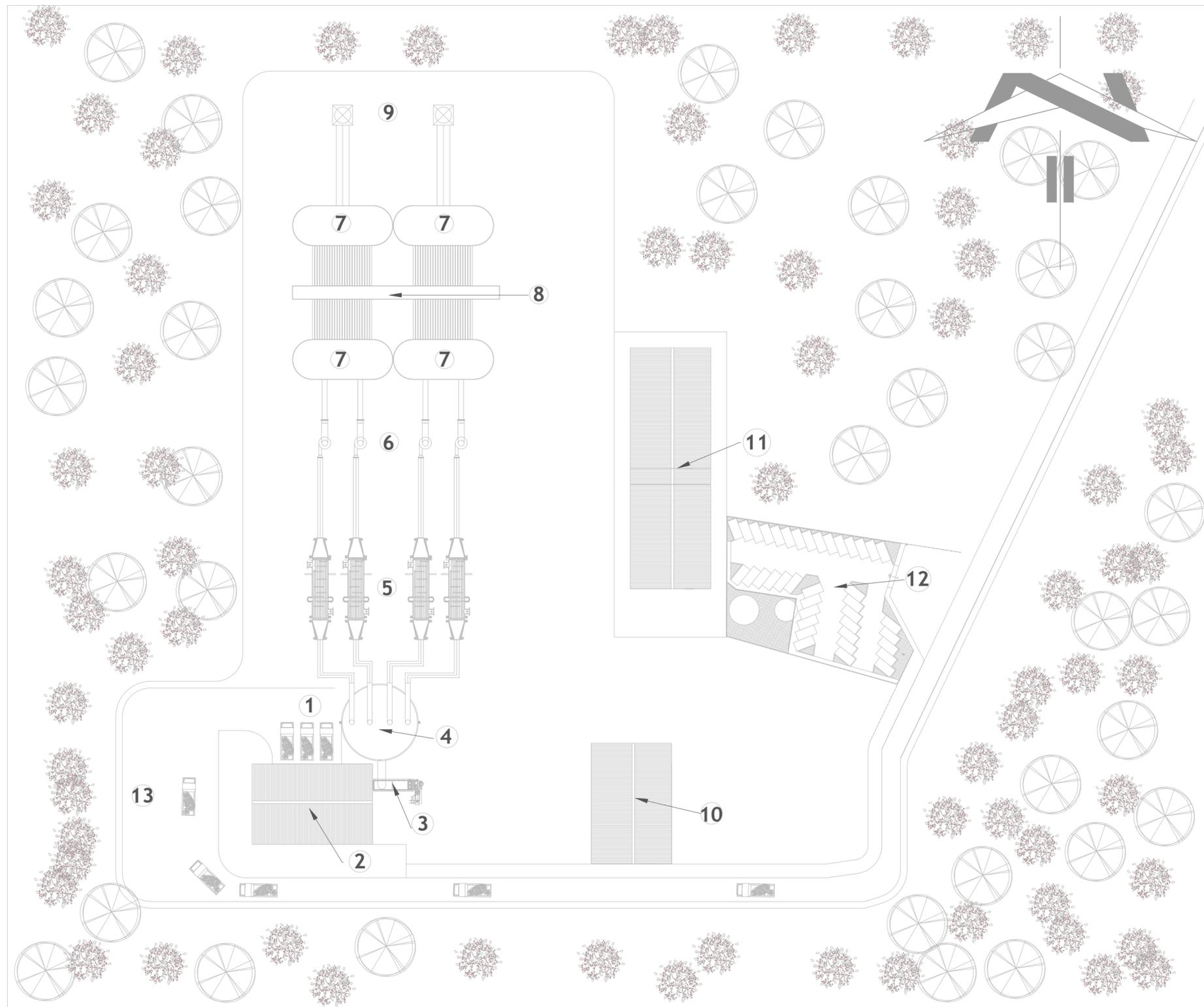
<https://latam.sumitomodrive.com/sites/default/files/entermediadb/m/originals/2021/06/0b/a96bc0453/Cat%C3%A1logo%20BBB-H%20ESP.pdf>

Codina, (2015) Catalogo Cintas Transportadoras.

[https://codinametal.com/wp-content/uploads/catalogos/CintasTransportadoras2015\\_En\\_Es.pdf](https://codinametal.com/wp-content/uploads/catalogos/CintasTransportadoras2015_En_Es.pdf)

# **Anexos**

# **(Planos)**



N°	SUBSISTEMAS
13.	ESTACIONAMIENTOS TREN DE ASEO
12.	ESTACIONAMIENTO ADMINISTRATIVO
11.	EDIFICIO ADMINISTRATIVO
10.	BODEGA GENERAL
9.	CHIMENEAS
8.	FILTROS DE MANGAS
7.	COLECTOR DE GASES
6.	SEPARADOR CICLÓNICO
5.	INTERCAMBIADORES DE CALOR
4.	CAMARA DE POST COMBUSTION
3.	CAMARA DE COMBUSTION
2.	ZONA DE ALIMENTACION: -FOSA -GRUA PUENTE -TOLVA Y BANDA DE ALIMENTACION
1.	ZONA DE DESCARGA

**PROYECTO:**  
 PROPUESTA DE UNA PLANTA DE INCINERACION DE DESECHOS ORGANICOS DE PARRILLA MOVIL CON SISTEMA DE TRATAMIENTOS DE GASES DE CAPACIDAD DE 2.2 TON/H

**ASESOR:**  
 ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEON

**PRESENTA:**  
 BR. ANTILLON HERNANDEZ, REYNALDO JHONATAN  
 BR. FUENTES GUEVARA, GUILLERMO JOSE  
 BR. MELGAR AGUILAR, OSCAR ALFREDO

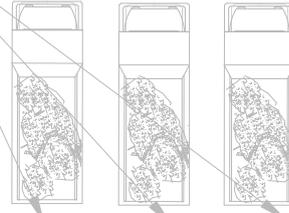
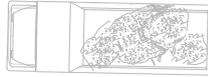
**CONTENIDO:**  
 PLANTA DE CONJUNTO

**HOJA:**  
 1/10



## COMPUERTAS DE DESCARGA

AREA DE PARQUEO TREN DE ASEO



20.00

30.00

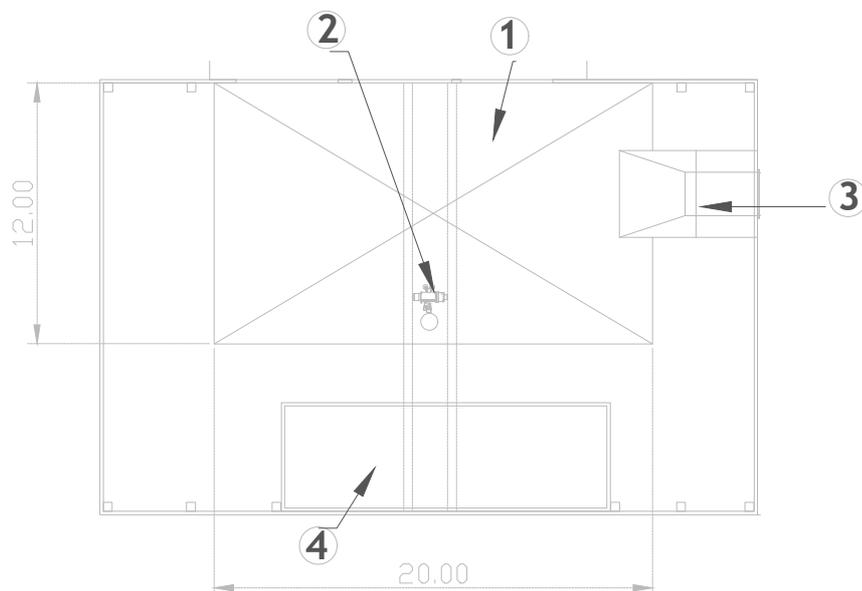
PROYECTO:  
PROPUESTA DE UNA PLANTA DE INCINERACION DE  
DESECHOS ORGANICOS DE PARRILLA MOVIL CON  
SISTEMA DE TRATAMIENTOS DE GASES DE  
CAPACIDAD DE 2.2 TON/H

ASESOR:  
ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEON

PRESENTA:  
BR. ANTILLON HERNANDEZ, REYNALDO JHONATAN  
BR. FUENTES GUEVARA, GUILLERMO JOSE  
BR. MELGAR AGUILAR, OSCAR ALFREDO

CONTENIDO:  
ZONA DE DESCARGA  
ESC 1:350

HOJA:  
**2/10**



#	<b>ZONA DE ALIMENTACION:</b>
4-	<b>CUARTO DE CONTROL</b>
3-	<b>TOLVA Y BANDA DE ALIMENTACION</b>
2-	<b>GRUA PUENTE</b>
1-	<b>FOSA</b>

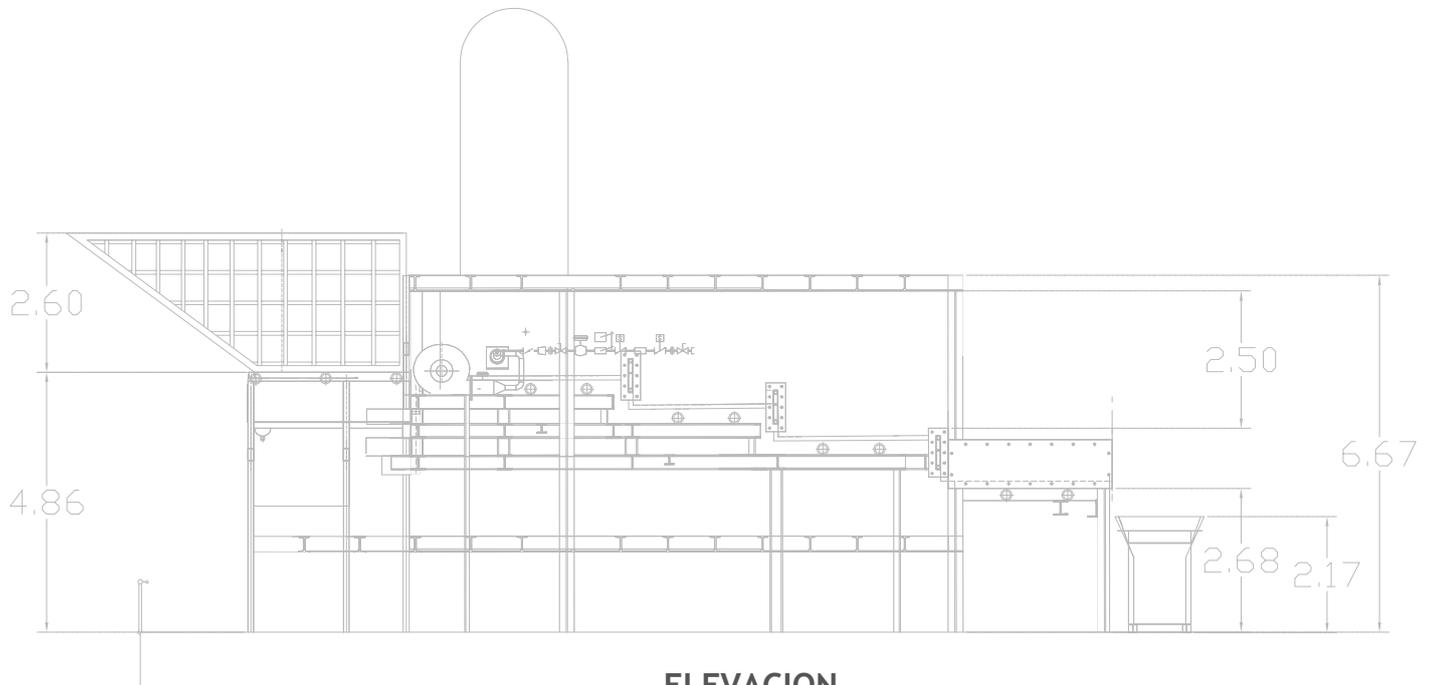
PROYECTO:  
 PROPUESTA DE UNA PLANTA DE INCINERACION DE DESECHOS ORGANICOS DE PARRILLA MOVIL CON SISTEMA DE TRATAMIENTOS DE GASES DE CAPACIDAD DE 2.2 TON/H

ASESOR:  
 ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEON

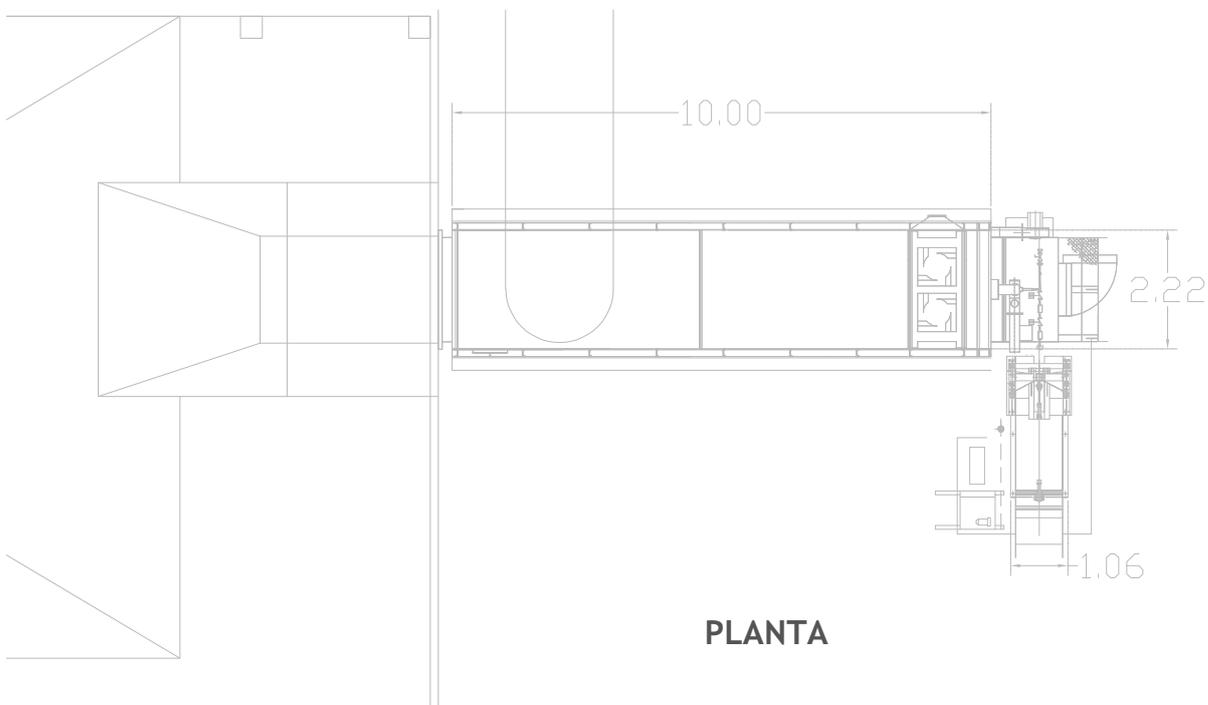
PRESENTA:  
 BR. ANTILLON HERNANDEZ, REYNALDO JHONATAN  
 BR. FUENTES GUEVARA, GUILLERMO JOSE  
 BR. MELGAR AGUILAR, OSCAR ALFREDO

CONTENIDO:  
 ZONA DE ALIMENTACION  
 ESC 1:350

HOJA:  
**3/10**



**ELEVACION**



**PLANTA**

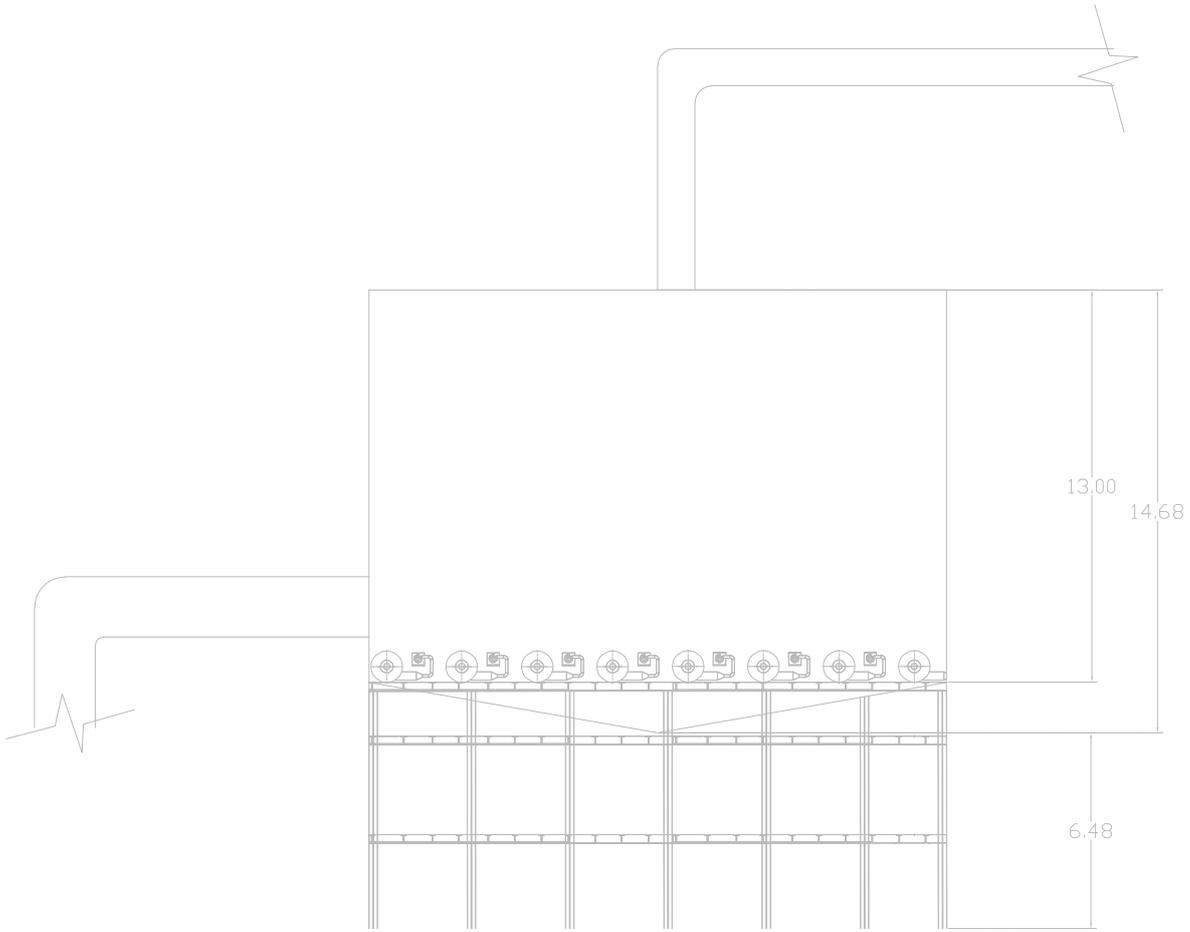
**PROYECTO:**  
 PROPUESTA DE UNA PLANTA DE INCINERACION DE  
 DESECHOS ORGANICOS DE PARRILLA MOVIL CON  
 SISTEMA DE TRATAMIENTOS DE GASES DE  
 CAPACIDAD DE 2.2 TON/H

**ASESOR:**  
 ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEON

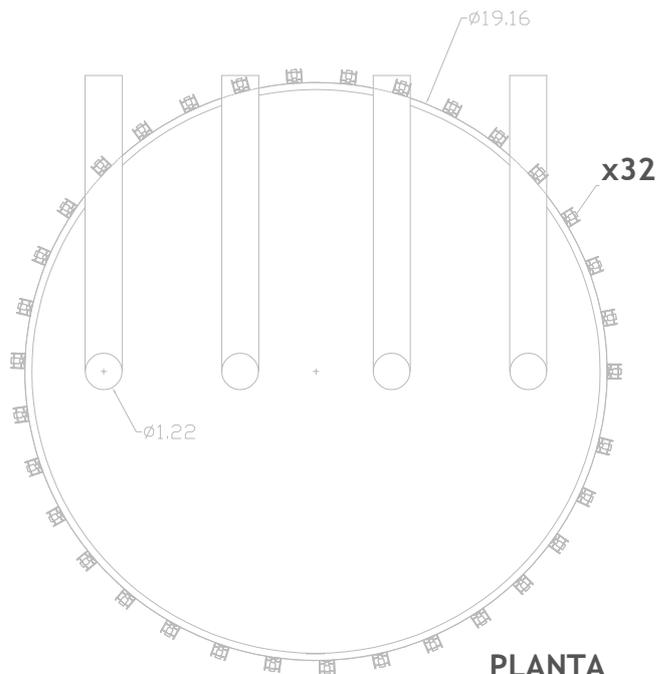
**PRESENTA:**  
 BR. ANTILLON HERNANDEZ, REYNALDO JHONATAN  
 BR. FUENTES GUEVARA, GUILLERMO JOSE  
 BR. MELGAR AGUILAR, OSCAR ALFREDO

**CONTENIDO:**  
 CAMARA DE COMBUSTION  
 ESC 1:150

**HOJA:**  
**4/10**



**ELEVACION**



**PLANTA**

**PROYECTO:**

PROPUESTA DE UNA PLANTA DE INCINERACION DE DESECHOS ORGANICOS DE PARRILLA MOVIL CON SISTEMA DE TRATAMIENTOS DE GASES DE CAPACIDAD DE 2.2 TON/H

**ASESOR:**

ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEON

**PRESENTA:**

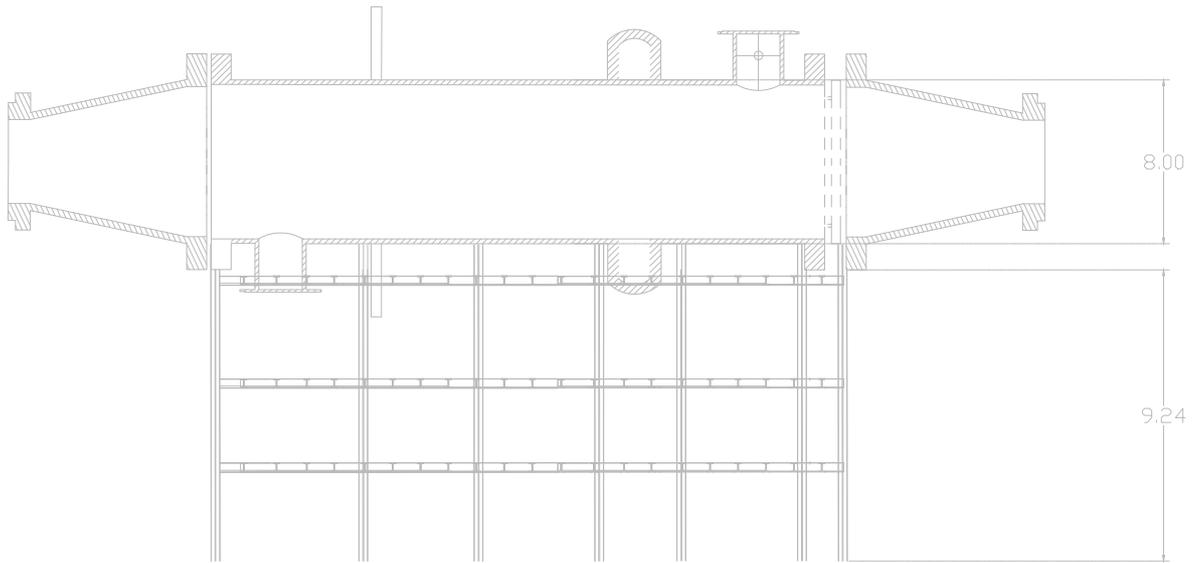
BR. ANTILLON HERNANDEZ, REYNALDO JHONATAN  
BR. FUENTES GUEVARA, GUILLERMO JOSE  
BR. MELGAR AGUILAR, OSCAR ALFREDO

**CONTENIDO:**

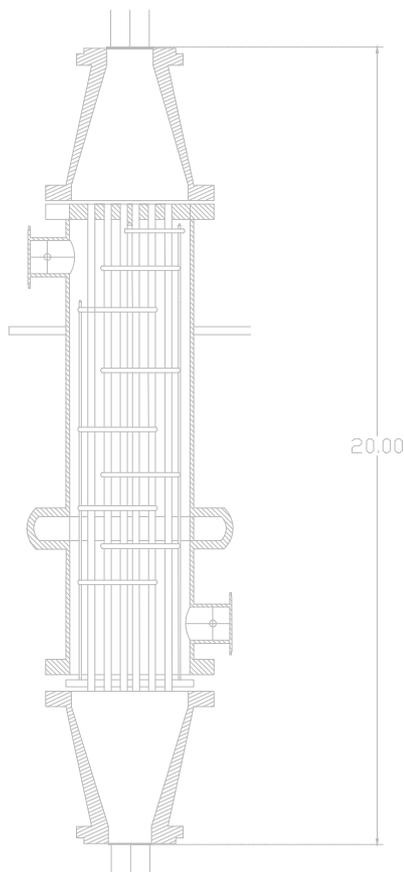
CAMARA DE POST COMBUSTION  
ESC 1:250

**HOJA:**

**5/10**



**ELEVACION**



**PLANTA**

**PROYECTO:**

PROPUESTA DE UNA PLANTA DE INCINERACION DE DESECHOS ORGANICOS DE PARRILLA MOVIL CON SISTEMA DE TRATAMIENTOS DE GASES DE CAPACIDAD DE 2.2 TON/H

**ASESOR:**

ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEON

**PRESENTA:**

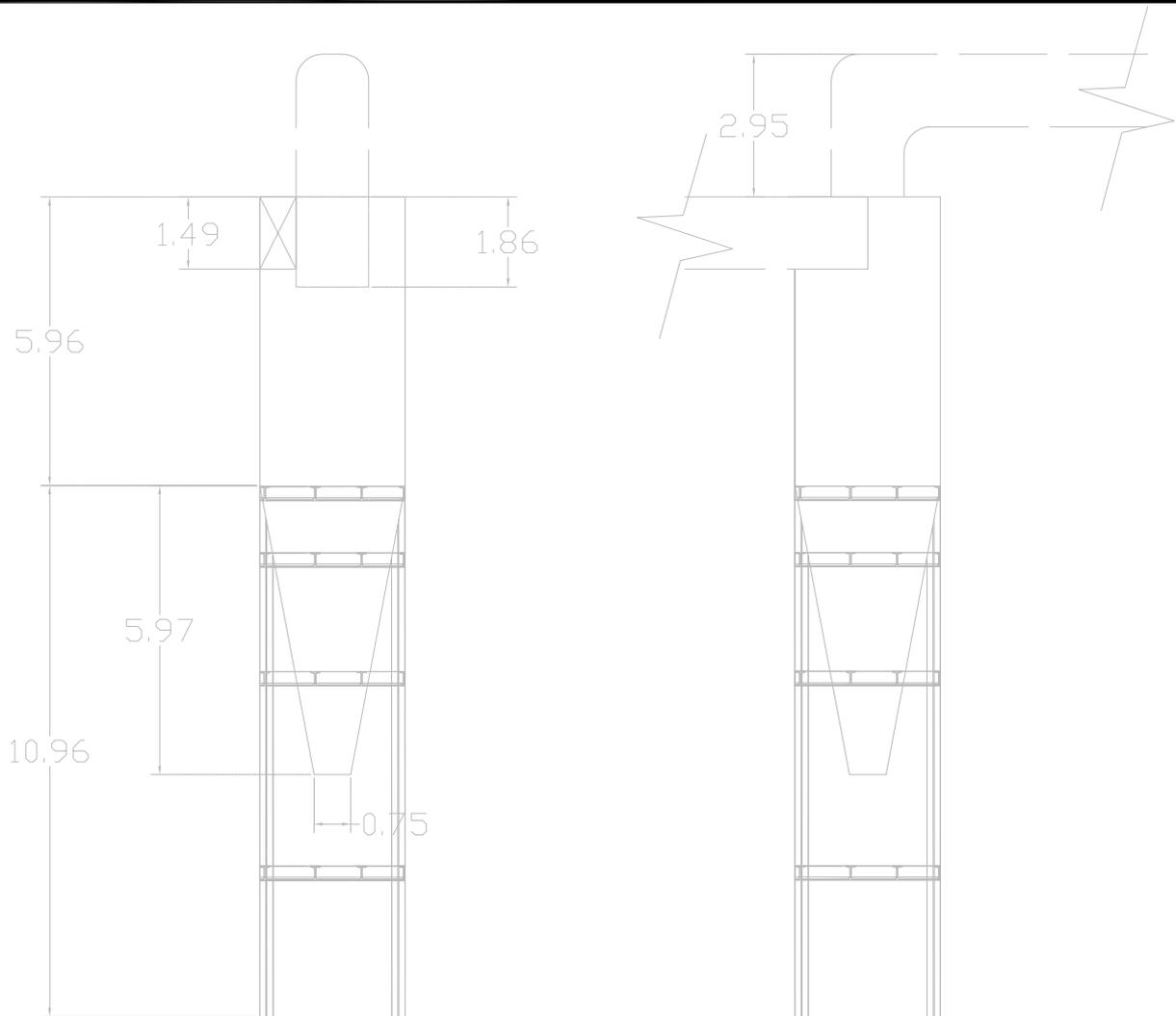
BR. ANTILLON HERNANDEZ, REYNALDO JHONATAN  
BR. FUENTES GUEVARA, GUILLERMO JOSE  
BR. MELGAR AGUILAR, OSCAR ALFREDO

**CONTENIDO:**

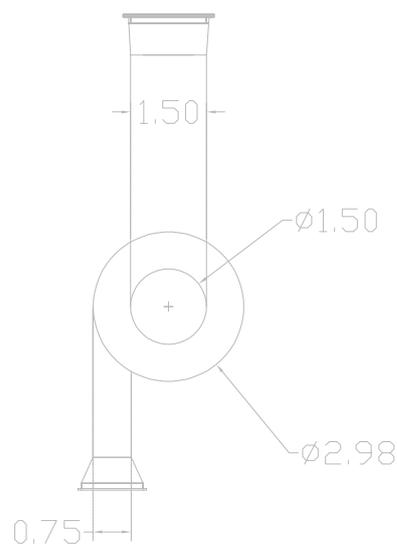
INTERCAMBIADOR DE CALOR  
ESC 1:250

**HOJA:**

**6/10**



**ELEVACION**



**PLANTA**

**PROYECTO:**

PROPUESTA DE UNA PLANTA DE INCINERACION DE DESECHOS ORGANICOS DE PARRILLA MOVIL CON SISTEMA DE TRATAMIENTOS DE GASES DE CAPACIDAD DE 2.2 TON/H

**ASESOR:**

ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEON

**PRESENTA:**

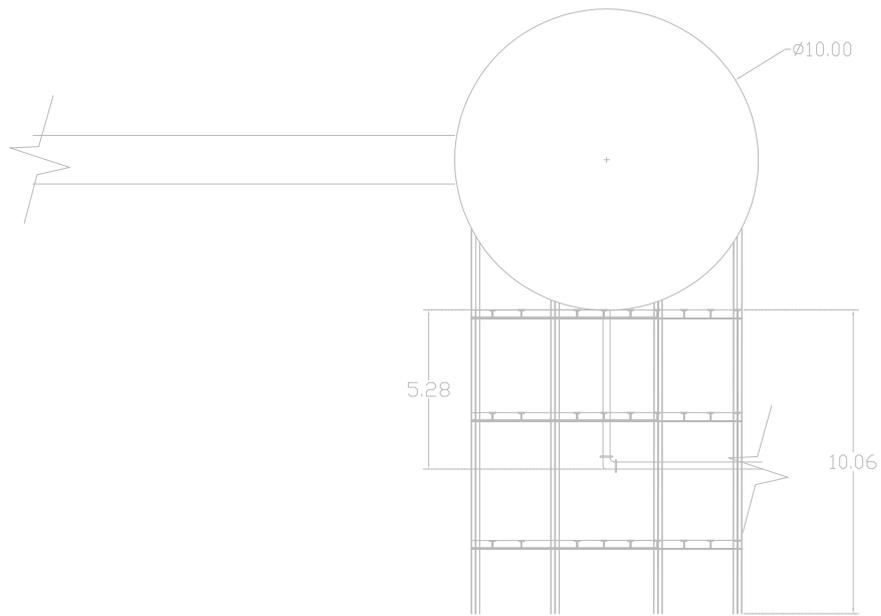
BR. ANTILLON HERNANDEZ, REYNALDO JHONATAN  
BR. FUENTES GUEVARA, GUILLERMO JOSE  
BR. MELGAR AGUILAR, OSCAR ALFREDO

**CONTENIDO:**

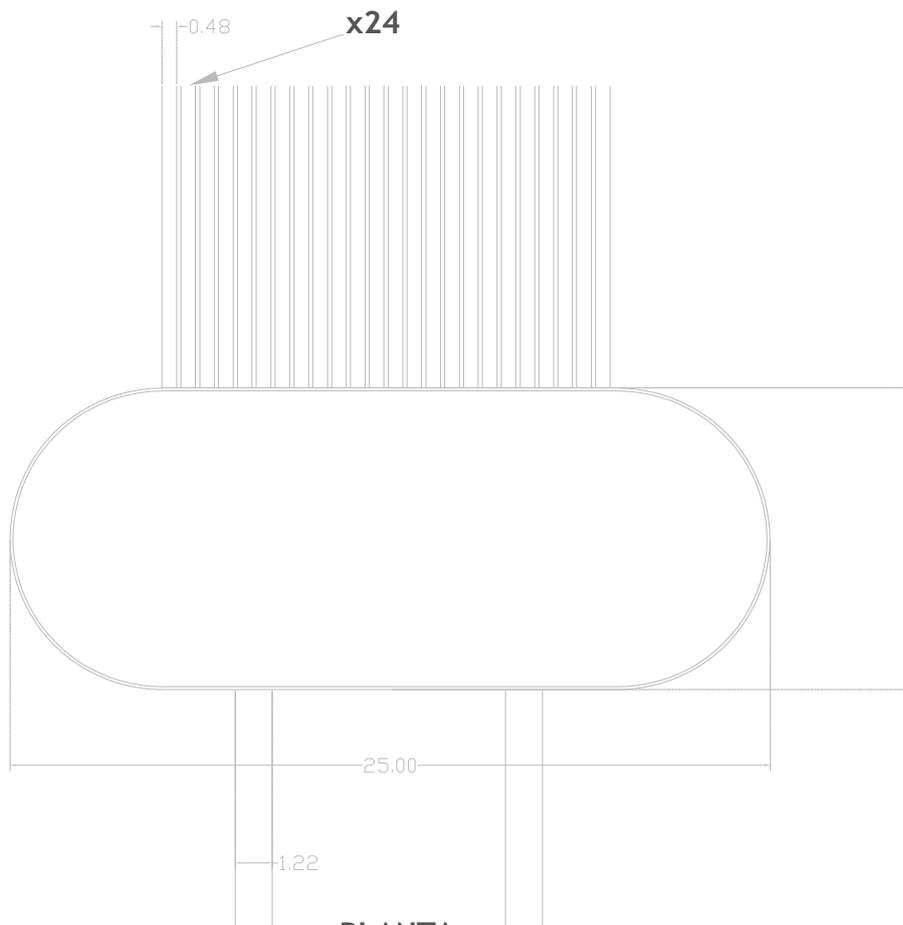
SEPARADOR CICLONICO  
ESC 1:150

**HOJA:**

**7/10**



**ELEVACION**



**PLANTA**

**PROYECTO:**

PROPUESTA DE UNA PLANTA DE INCINERACION DE DESECHOS ORGANICOS DE PARRILLA MOVIL CON SISTEMA DE TRATAMIENTOS DE GASES DE CAPACIDAD DE 2.2 TON/H

**ASESOR:**

ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEON

**PRESENTA:**

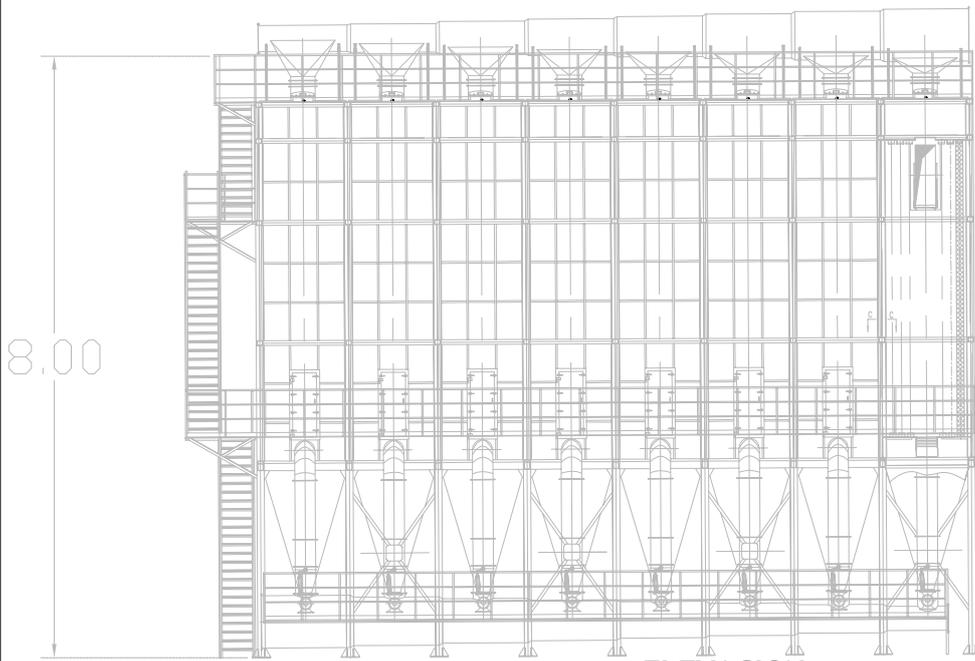
BR. ANTILLON HERNANDEZ, REYNALDO JHONATAN  
BR. FUENTES GUEVARA, GUILLERMO JOSE  
BR. MELGAR AGUILAR, OSCAR ALFREDO

**CONTENIDO:**

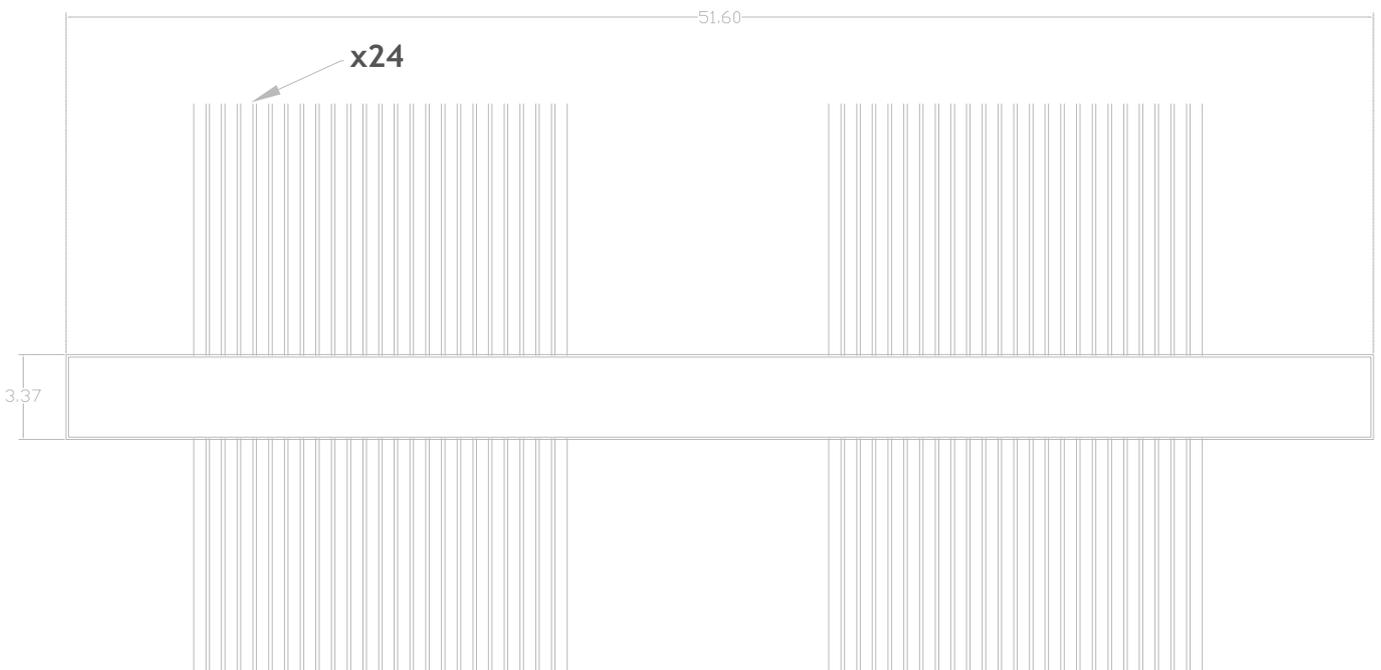
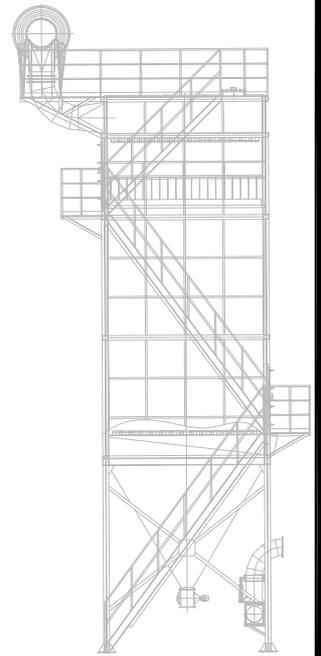
COLECTOR DE GASES  
ESC 1:250

**HOJA:**

**8/10**



**ELEVACION**  
ESC : 1:100



**PLANTA**  
ESC : 1:300

**PROYECTO:**

PROPUESTA DE UNA PLANTA DE INCINERACION DE DESECHOS ORGANICOS DE PARRILLA MOVIL CON SISTEMA DE TRATAMIENTOS DE GASES DE CAPACIDAD DE 2.2 TON/H

**ASESOR:**

ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEON

**PRESENTA:**

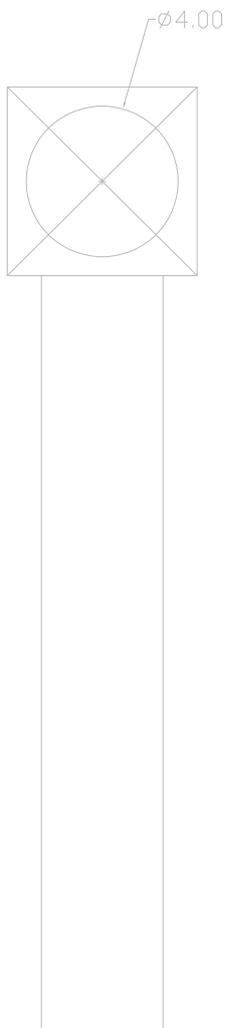
BR. ANTILLON HERNANDEZ, REYNALDO JHONATAN  
BR. FUENTES GUEVARA, GUILLERMO JOSE  
BR. MELGAR AGUILAR, OSCAR ALFREDO

**CONTENIDO:**

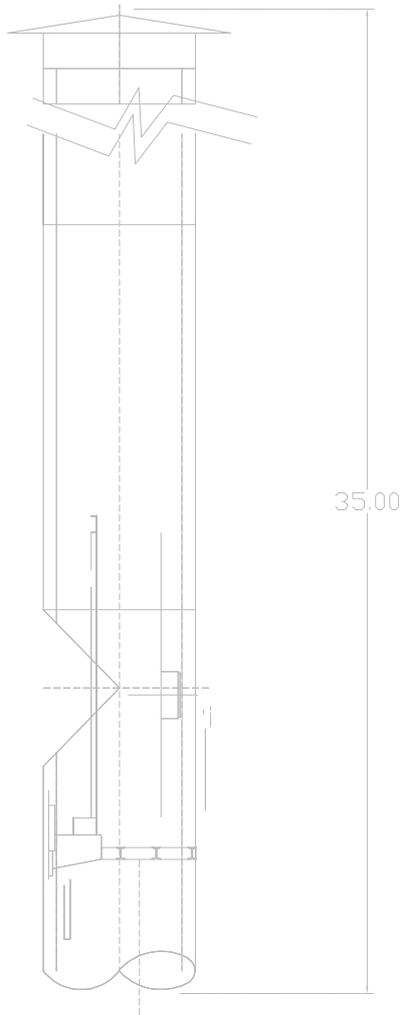
FILTRO DE MANGAS  
ESC : INDICADA

**HOJA:**

**9/10**



PLANTA



ELEVACION

PROYECTO:

PROPUESTA DE UNA PLANTA DE INCINERACION DE DESECHOS ORGANICOS DE PARRILLA MOVIL CON SISTEMA DE TRATAMIENTOS DE GASES DE CAPACIDAD DE 2.2 TON/H

ASESOR:

ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEON

PRESENTA:

BR. ANTILLON HERNANDEZ, REYNALDO JHONATAN  
BR. FUENTES GUEVARA, GUILLERMO JOSE  
BR. MELGAR AGUILAR, OSCAR ALFREDO

CONTENIDO:

CHIMENEA  
ESC 1:100

HOJA:

10/10