



**UNIVERSIDAD DE GRANMA**  
**Facultad de Ciencias Técnicas**  
**Departamento de Ciencias Técnicas**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**  
**Sede Latacunga**

**Trabajo de Diploma**  
**En opción al título de Ingeniero Electromecánico**

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE INCINERADOR PARA DESECHOS  
HOSPITALARIOS**

**JOSÉ WILLIAMS MORALES CEVALLOS**  
**DIEGO GEOVANNY CAISAGUANO MOREANO**

**BAYAMO. M.N. 2013**  
**“Año 55 de la Revolución”**

**LATACUNGA-ECUADOR 2013**  
**“Por la vinculación de la Universidad con el Pueblo”**



**UNIVERSIDAD DE GRANMA**  
**Facultad de Ciencias Técnicas**  
**Departamento de Ciencias Técnicas**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**  
**Sede Latacunga**

**Trabajo de Diploma**  
**En opción al título de Ingeniero Electromecánico**

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE INCINERADOR PARA DESECHOS  
HOSPITALARIOS**

**Diplomantes:** José Williams Morales Cevallos  
Diego Geovanny Caisaguano Moreano

**TUTORES:** M.Sc Ing. Roberto Beltrán Reyna  
Ing. Joao Lázaro Bárzaga Quesada

**BAYAMO. M.N. 2013**  
“Año de 55 de la Revolución”

**LATACUNGA-ECUADOR 2013**  
“Por la vinculación de la Universidad con el Pueblo”

## AGRADECIMIENTOS

*A mis queridos y amados padres Williams Edmundo y María Dolores Celina, quienes me han entregado su apoyo incondicional sin pedirme nada a cambio sino solamente ser un buen hijo digno del respeto y confianza de ellos, a mis hermanos salome y pablo quienes hemos compartido nuestros visiones y deseos siempre siendo mejores personas.*

*A mis abuelitos por su entero apoyo, a mis tíos, primos por su soporte en momentos difíciles.*

*Al amor de mi vida Rosario de las Mercedes quien con su apoyo incondicional siempre estuvo guiándome a ser un buen hombre ser una mejor persona día a día, té agradezco por ser la mujer que eres conmigo por tu entrega y dedicación por tu paciencia por la fortaleza que me entregas durante todo el tiempo que hemos estado juntos por ser una persona especial y hacerme especial a mí también, por el amor que nos tenemos juntos que a pesar del tiempo y la distancia no ha cambiado y sigue creciendo.*

*A mis compañeros y sobre todo mis amigos Diego y Fausto que han sabido ser muy buenas personas, sabiéndonos dirigirnos y enfocarnos en nuestro objetivo, por las tristezas y alegrías que tuvimos todos alejados de nuestros seres queridos.*

*Agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi por haberme permitido iniciar mis estudios universitarios para superarme como profesional, a través de la culminación de mis estudios con la obtención del título de ingeniería en electromecánica.*

*Agradezco de manera especial a las autoridades y docentes, que trabajan día a día para mejorar e impartir sus conocimientos de manera adecuada con los métodos de aprendizaje más adecuados, y han sido nuestros guías en el trayecto de la vida universitaria.*

*Agradezco a las autoridades y personal docente de la universidad de Granma en especial a mis tutores M.Sc. Roberto Beltrán y al Ing. Joao Bárzaga por su ayuda en el desarrollo del trabajo de diploma, quienes además de guiarme en mi trabajo de tesis supieron ser buenos amigos dejando en mi mente y en mi corazón recuerdos inmemorables que perduraran toda mi existencia en este mundo.*

*Mi sincera gratitud eternamente.*

*JOSÉ WILLIAMS MORALES CEVALLOS*

## DEDICATORIA

*Dedico este proyecto de tesis a Dios, a mis padres, hermanos, a mi sobrino, a mi familia en general, y a la mujer de mi vida. A Dios porque ha estado siempre en cada etapa de mi vida, quien me ha encaminado paso a paso durante mi carrera universitaria guiándome día a día cada movimiento que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, quienes en lo extenso del camino de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento, colocando su entera preocupación, dedicación y confianza en cada desafío que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad es por ellos soy lo que soy ahora.*

*A mis hermanos Pablo Andrés y María Salomé, quienes con sus consejos me hicieron una mejor persona pese a las adversidades que tiene los caminos de la vida.*

*A mi sobrino Ian Nathiel quien desde el momento que nació formo parte de mi corazón y de mi vida siendo una alegría incomparable en la casa y en mi familia.*

*A mis abuelitos Efraín y Dolores Piedad que desde el momento que nací siempre estuvieron presentes ayudándome, aconsejándome, guiándome por el buen camino.*

*A mis tíos, Carmita, Patricia, Marcelo quienes han compartido conmigo las alegrías y tristezas que tiene la vida, sabiendo siempre salir adelante en la adversidad.*

*A todos mis primos con lo que compartimos momentos increíbles durante toda nuestra infancia, adolescencia y hoy en día ya como profesionales.*

*A abuelita Matilde Borja que tengo bonitos recuerdos de mi infancia y adolescencia así también a mis tíos por parte de mi amado padre.*

*A la mujer de mi vida Rosario de las Mercedes quien me enseñó el amor en pareja, la confianza el respeto la fidelidad, formando parte de mi vida concibiéndose en un eje muy importante en mis decisiones, encaminándome en una nueva vida llena de amor y ternura complementándome como persona y ser humano, haciéndome el ser más feliz del mundo con sus carisias y ternura.*

*JOSÉ WILLIAMS MORALES CEVALLOS*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi, Universidad de Granma que me brindó la oportunidad de prepararme para la vida profesional y personal.

Un agradecimiento especial a mis tutores M.Sc. Roberto Beltrán Reyna, Ing. Joao Lázaro Bárzaga Quesada por su colaboración, confianza y sugerencias en el desarrollo de la tesis.

En general quisiera agradecer a todas y cada una de las personas que han vivido conmigo la realización de esta tesis, que no necesito nombrar porque tanto ellos como yo sabemos que desde los más profundo de mi corazón les agradezco el haberme brindado todo el apoyo, colaboración, ánimo pero todo el cariño y amistad.

*DIEGO GEOVANNY CAISAGUANO MOREANO*

## DEDICATORIA

A:

Mis padres Nelson Caisaguano y Luzmila Moreano porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy pude ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ustedes, por lo que vale, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí.

Mis hermanos por estar siempre presentes quienes día a día supieron apoyarme para alcanzar mis metas, acompañándome los quiero mucho.

Mis abuelos por quererme y apoyarme siempre, en los malos y buenos momentos esto también se los debo a ustedes.

Mis tíos quienes han sido el pilar de guiarme por el buen camino y apoyándome moralmente y psicológicamente.

Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

Mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos en los momentos difíciles.

*DIEGO GEOVANNY CAISAGUANO MOREANO*

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros **MORALES CEVALLOS JOSÉ WILLIAMS**, con cédula de ciudadanía No. **050267542-4**, de Nacionalidad Ecuatoriana, y **CAISAGUANO MOREANO DIEGO GEOVANNY** con cedula de ciudadanía No. **050326950-8** de Nacionalidad Ecuatoriana, actuando en nombre propio, en calidad de autores de la tesis denominada: **DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE INCINERADOR PARA DESECHOS HOSPITALARIOS.**; autorizamos a las Universidades Técnica de Cotopaxi y a la Universidad Granma, para que utilicen y usen en todas sus formas el presente trabajo.

Como autores declaramos que la obra objeto de la presente autorización es de nuestra exclusiva autoría y nos detentamos la titularidad sobre la misma.

---

Morales Cevallos José Williams

---

Caisaguano Moreano Diego Geovanny

---

M.Sc. Ing. Roberto Beltrán Reyna

---

Ing. Joao L. Bárzaga Quesada

## RESUMEN

Este trabajo tiene la finalidad de diseñar el prototipo de incinerador para desechos hospitalarios mediante la modelación, para su posterior análisis por el método de los elementos finitos. Se realizó el análisis a través de la matriz morfológica la cual permite la obtención de la solución por la combinación sistemática de un conjunto de conceptos posibles. La matriz morfológica posibilitó la obtención de 12 principios de soluciones, de los cuales solo se analizaron dos de ellos teniendo en cuenta las condiciones de funcionamiento y la existencia de los materiales en los mercados, el principio seleccionado para la fabricación del prototipo fue la variante de concepto 2, la cual consiste en: Perfil canal + Quemador convencional + Ladrillo refractario + Caucho alta temperatura.

Se realizó un análisis estático de la estructura metálica obteniendo el comportamiento de las tensiones axiales y de flexión para el límite superior casos encontrándose los valores de 0 a 83,1 MPa en la zona superior de la estructura metálica, los desplazamientos resultantes se encuentran en un rango de 0 a 3 mm, obteniendo los valores máximo en la zona central superior de la estructura y factor de seguridad del modelo arrojó un valor de 4,3, quedando demostrado que los elementos que componen la armadura del prototipo soportan los esfuerzos a los que estará sometido durante el cumplimiento de su destino de servicio.



## **ABSTRACT**

This work has the purpose of designing the incinerator prototype for hospital waste by means of the modelation, for its later analysis for the method of the finite elements. It was carried out the analysis through the morphological womb which allows the obtaining of the solution for the systematic combination of a group of possible concepts. The morphological womb facilitated the obtaining of 12 principles of solutions, of those which alone two of them were analyzed keeping in mind the operating conditions and the existence of the materials in the markets, the selected principle for the production of the prototype was the concept variant 2, which consists in: Profile channel + conventional Burner + Refractory brick + Rubber discharge temperature.

It was carried out a static analysis of the metallic structure obtaining the behavior of the axial tensions and of flexion for the limit superior cases being the securities from 0 to 83,1 MPa in the superior area of the metallic structure, the resulting displacements are in a range from 0 to 3 mm, obtaining the maximum securities in the superior central area of the structure and safe-deposit factor of the pattern threw a value of 4,3, being demonstrated that the elements that compose the armor of the prototype support the efforts to those that it will be subjected during the execution of its destination of service.

## TABLA DE CONTENIDO

### Contenido

I - INTRODUCCIÓN.....	1
II - DESARROLLO .....	5
Capítulo 1. Marco teórico-conceptual.....	5
1.1 Fundamentación y estado actual del tema. ....	5
1.2. Clasificación de los residuos hospitalarios y similares. ....	7
1.2.1. Riesgos biológicos y químicos de los desechos hospitalarios para el medio ambiente y las personas. ....	9
1.3. La incineración.....	10
1.4. Tipos de incineradores.....	12
1.4.1. Características técnicas y operativas de los incineradores.....	14
1.5 Introducción a los software CAD.....	15
1.5.1 Solid Works.....	16
1.6 Propiedades de los materiales.....	18
Capítulo 2. Materiales y métodos.....	20
2.1. Introducción.....	20
2.2 Procedimiento para diseñar el prototipo de incinerador para desechos hospitalarios.....	20
2.3 Modelación de las piezas con sus dimensiones en el Software de diseño CAD..	21
2.4 Ensamble del modelo de incinerador para desechos hospitalarios.....	21
2.5 Asignación de los materiales y sus propiedades a cada pieza. ....	21
Capítulo 3. Análisis y discusión de los resultados.....	22
3.1 Concepción de un principio de solución.....	22
3.2 Evaluación de la factibilidad del principio de solución.....	24
3.3 Concepción final del prototipo.....	25
3.3.1 Descripción dimensional de las piezas que componen el prototipo incinerador de desechos hospitalarios.....	25
3.4 Propiedades físicas y mecánicas de los materiales de cada modelo de pieza. ...	28
3.5 Análisis de las cargas y restricciones presentes en los modelos.....	30
3.6 Mallado de los modelos.....	31
3.7 Análisis de los resultados obtenidos.....	32
3.8 Cálculo térmico de la pared del prototipo de incinerador de desechos hospitalarios.....	35

III - CONCLUSIONES.....	37
IV - RECOMENDACIONES.....	38
V - BIBLIOGRAFÍA.....	39
VI – ANEXOS.....	41

## I - INTRODUCCIÓN

Los residuos hospitalarios pueden producir contaminación y enfermedades si no se los maneja adecuadamente. Los residuos infecciosos, especialmente los cortopunzantes, presentan un riesgo para quienes puedan entrar en contacto con ellos. De acuerdo con las estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el 40% de los casos de hepatitis y el 12% de los casos de VIH en el mundo se deben a la exposición en el ámbito de trabajo [Noharm, 2013].

La incineración para desechos hospitalarios, es una técnica ampliamente utilizada en el manejo de estos residuos, pues por medio de ella se obtiene la reducción del volumen que ocupan, y por tanto la disminución del peligro asociado a la naturaleza de los desechos generados en hospitales.

El manejo y la disposición final de los desechos hospitalarios ha sido objeto de atención en todo el mundo. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha realizado paneles de expertos para analizar la materia y ha difundido recomendaciones específicas para países en vías de desarrollo. Frente a la postura de la OMS y de diversas agencias gubernamentales que promueven un tratamiento agresivo de los residuos biológicos, existen también posiciones divergentes. Tomando como base los riesgos epidemiológicos conocidos, hay quienes postulan que la gran mayoría de los residuos generados por las instituciones de salud son asimilables a los desechos domésticos, y que por lo tanto, no merecen un manejo especial, salvo casos específicos como los elementos radioactivos, los agentes citotóxicos, y otros de connotaciones especiales como los restos humanos identificables a simple vista [Araujo, 2001].

Cada vez es más importante el abordar de una forma coordinada la generación, clasificación, segregación, transporte, almacenamiento y disposición final de los desechos sólidos Biológicos Hospitalarios (DSBH) generados en los centros de atención hospitalaria. Por lo que es primordial elaborar estrategias integrales, por parte de las instituciones de salud, que les permita establecer procedimientos y medidas de prevención para su manejo seguro; a fin de disminuir los riesgos de

infecciones nosocomiales, accidentes de trabajo y evitar el deterioro, en forma directa, de la calidad del aire, suelos y agua [Amaya, *et al.*, 2005].

Cuando los desechos son incinerados, éstos se transforman en gases y cenizas; los primeros van a estar constituidos por una mezcla de numerosas sustancias, entre ellas contaminantes de gran importancia, como son el dióxido de azufre, monóxido de carbono, entre otras. Por otro lado, el incinerador va a generar un desecho sólido, constituido por cenizas de fondo y cenizas voladoras; las primeras permanecen en el interior del incinerador y se caracterizan por un alto contenido de metales y vidrio, es decir la parte no combustible de los desechos, mientras que las cenizas voladoras son aquellas partículas finas, usualmente en el rango respirable, que son arrastradas por la corriente gaseosa del incinerador hacia el exterior.

La emisión de gases contaminantes y partículas, constituyen un problema no solo medioambiental sino que también tiene repercusión en la salud de las personas. En los hospitales el sistema de incineración es sumamente ineficiente lo que provoca que en ocasiones que los desechos no sean incinerados completamente, llegando a existir momentos en los que se hace necesario trasladar los desechos hospitalarios a otros centros donde el proceso de incineración es eficiente.

Motivado por estos antecedentes, se decidió ejecutar este proyecto de curso, teniendo como aspectos fundamentales los siguientes:

**Problema de investigación:**

¿Cómo diseñar un prototipo de incinerador para desechos hospitalarios?

**Objeto:**

Proceso de incineración para desechos hospitalarios.

**Campo:**

Diseño del prototipo de incinerador para desechos hospitalarios.

**Hipótesis:**

Si se diseña un prototipo de incinerador para desechos hospitalarios, se podrá realizar el proceso de incineración en los hospitales cumpliendo con los parámetros establecidos.

**Objetivo:**

Diseñar un prototipo de incinerador para desechos hospitalarios.

**Objetivos específicos:**

1. Determinar las características dimensionales del prototipo incinerador para desechos hospitalarios.
2. Determinar los principales desechos que serán incinerados.
3. Determinar el rango de temperatura en que debe de operar el prototipo incinerador para desechos hospitalarios.
4. Determinar los diferentes tipos de incineradores existentes.
5. Seleccionar el tipo de incinerador adecuado para la combustión.
6. Modelar en un software CAD el prototipo de incinerador.
7. Realizar el análisis por el método de los elementos finitos de la estructura metálica.

**Tareas de investigación:**

- Realizar una revisión bibliográfica sobre incineración para desechos hospitalarios.
- Calcular y establecer los parámetros de trabajo adecuados del incinerador para desechos hospitalarios.
- Representar en un entorno 3D el diseño del incinerador para desechos hospitalarios.
- Documentar el diseño de detalle del incinerador para desechos hospitalarios.

**Métodos empleados:**

- **Método histórico – lógico**, se estudiaron los antecedentes en el tema teniendo en cuenta las investigaciones preliminares y sus respectivos resultados obtenidos reflejándolo en la bibliografía.
- **Método de inducción – deducción**, para hacer referencias oportunas de lo particular a lo general y viceversa, según las circunstancias específicas de cada una de las etapas de trabajo lo requieran.
- **Método de análisis y síntesis**, se estudiaron, revisaron y analizaron estudios referentes al tema, al igual que el software a utilizar.
- **Empíricos**: Consulta a expertos que permitieron afianzar conocimientos y aclarar dudas acerca del uso de los software y dieron vías de solución al problema planteado.
- **Revisión bibliográfica.**

**Resultados esperados:**

Obtener el rediseño de un incinerador para desechos hospitalarios.

## II - DESARROLLO

### Capítulo 1. Marco teórico-conceptual.

En este capítulo se abordarán los aspectos esenciales relacionados con la incineración para desechos hospitalarios (Figura 1.1) y sus elementos técnicos, enmarcados en los tipos para desechos hospitalarios, su clasificación, los riesgos biológicos y químicos de los mismos y su incidencia en el medio ambiente y las personas. A partir de lo cual se definen aquellos aspectos fundamentales que permiten el establecimiento de las características de los incineradores para desechos hospitalarios.



**Figura 1.1.** Planta de incineración para desechos hospitalarios [Rio-B, 2013].

#### 1.1 Fundamentación y estado actual del tema.

Los desechos hospitalarios (Figura 1.2) forman parte de los desechos sanitarios. Estos últimos incluyen además los provenientes de clínicas y consultas médicas, de centros ambulatorios, de clínicas dentales, de laboratorios, de centros de investigación, de los cuidados de salud domiciliaria (pacientes diabéticos, tratamientos ambulatorios de cuadros agudos por vía intravenosa o intramuscular, etc), de oficinas donde se practica atención de enfermería, y de centros de diálisis, entre otros. Se estima que entre un 75% y un 90% de los desechos originados en instituciones de salud carece de riesgo alguno y es de por sí asimilable a los desechos domésticos, y que un 10% a 25% sería potencialmente dañino. El material



corto-punzante no superaría el 1%, y más pequeña aún sería la proporción de agentes citotóxicos y radionúclidos. Se estima también que en Latinoamérica se generan aproximadamente 3 kg/día/cama de desechos sanitarios, alrededor de la mitad de lo que eliminan los países industrializados [Araujo, 2001].



**Figura 1.2.** Desechos hospitalarios [Balarezo, 2005]

Hoy en día la incineración está contemplada como un proceso totalmente aceptado y necesario para la eliminación de cierto tipo de residuos, entre los que se incluyen los hospitalarios. En sí se trata de un proceso térmico, a realizar en una o varias etapas que, mediante aporte de aire y a alta temperatura, transforma materiales sólidos en un conjunto de gases, producto final de combustión que fundamentalmente se componen de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y O<sub>2</sub>. Como producto de la incineración se obtiene una escoria que rara vez será el 6%o de la cantidad del residuo incinerado [Polo y Romero, 2009].

La incineración es la combustión completa de la materia orgánica hasta su conversión en cenizas, usada en el tratamiento de basuras: residuos sólidos urbanos, industriales peligrosos y hospitalarios, entre otros. Tanto la incineración, como otros procesos de tratamiento de basuras a alta temperaturas son descritos como "tratamiento térmico". La incineración se lleva a cabo hornos mediante oxidación química en exceso de oxígeno. Algunos de los motivos por los que se usa

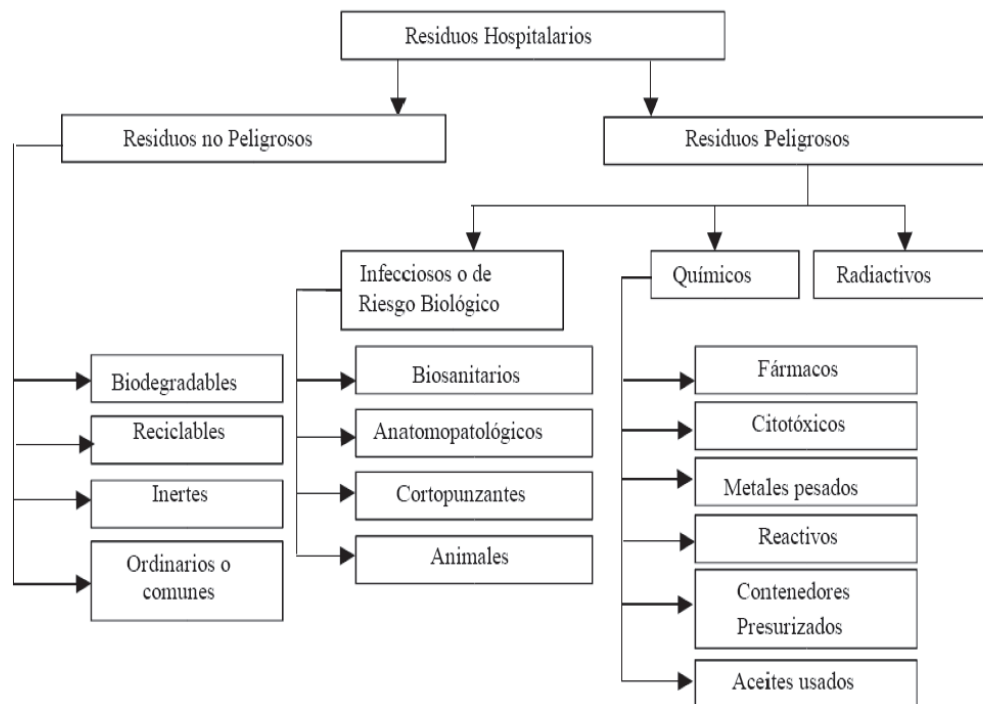
este tratamiento pueden ser la destrucción de información (incineradora de documentos) o la destrucción de productos o compuestos químicos peligrosos (incineradora de residuos sólidos orgánicos). Los productos de la combustión son cenizas, gases, partículas tóxicas y algunas con efectos cancerígenos, así como calor, que puede ser usado para generar energía eléctrica. Por sus efectos nocivos sobre la salud, su alto precio económico, y su insostenibilidad es un método de eliminación de residuos fuertemente criticado [Wikipedia, 2013].

## **1.2. Clasificación de los residuos hospitalarios y similares.**

Existen diferentes clasificaciones de los Desechos Sólidos Hospitalarios en general y éstas varían de región a región. Sin embargo para el presente estudio se tomará como base la clasificación realizada por la Organización Mundial de la Salud (OMS), para América Latina en su forma simplificada, expuesta por autores como [Amaya, *et al.*, 2005] y [Polo y Romero, 2009].

Los residuos sólidos producidos en una institución de salud se dividen en dos grandes grupos, residuos no peligrosos y residuos peligrosos, los primeros son biodegradables, reciclables, inertes y ordinarios o comunes, a su vez los residuos peligrosos se dividen en tres grupos importantes infecciosos o de riesgos biológicos, químicos y radioactivos [Polo y Romero, 2009]. En la Figura 1.3 se presenta la clasificación de los residuos hospitalarios.

Se consideran residuos infecciosos a todos los residuos generados en relación con el cuidado de pacientes (diagnóstico, tratamiento, inmunización o provisión de servicios médicos a seres humanos o animales, etc.), investigación y/o producción comercial de elementos biológicos que estén o puedan estar contaminados con agentes infecciosos, capaces de inducir una infección, representando un riesgo potencial para la salud de la población. Se considerarán infecciosos además, los materiales de desecho mezclados y descartados junto con residuos infecciosos [Ars, 1999].



**Figura 1.3.** Clasificación de los residuos hospitalarios [Polo y Romero, 2009].

Autores como [Araujo, 2001] comentan, que los documentos de la OMS dividen los desechos sanitarios –sobre los que cabe alguna preocupación especial- en las siguientes categorías:

- Desechos infecciosos: desechos que se sospecha contienen patógenos en suficiente cantidad o concentración para causar enfermedad en huéspedes susceptibles (en general, tejidos o materiales contaminados con sangre o fluidos biológicos de pacientes infectados).
- Desechos patológicos: tejidos, órganos, partes del cuerpo, fetos, sangre y fluidos corporales, cadáveres animales. Las partes del cuerpo reconocibles se incluyen dentro de esta categoría como Desechos anatómicos.
- Cortopunzantes: elementos que pueden causar cortes o pinchazos.
- Desechos farmacéuticos: productos farmacéuticos, drogas, vacunas y sueros expirados, sin uso, derramados o contaminados que no van a ser utilizados,

así como los materiales descartables utilizados para su manipulación y envasado (guantes, envases con residuos, etc.).

- Desechos genotóxicos: desechos con propiedades mutagénicas, teratogénicas o carcinogénicas. Su principal exponente son las drogas citotóxicas antineoplásicas (materiales contaminados con ellas, residuos en envases, secreciones y heces de pacientes tratados, etc).
- Desechos químicos: pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos. Se consideran peligrosos si poseen alguna de las siguientes propiedades: tóxicos, corrosivos, inflamables, reactivos (ej. explosivos) o genotóxicos.
- Desechos con alto contenido en metales pesados: subcategoría de los anteriores. Se refiere especialmente a instrumentos a mercurio desechados (termómetros, esfigmomanómetros).
- Contenedores presurizados: especialmente latas aerosoles. Pueden explotar por efecto del calor o al ser puncionados accidentalmente.
- Desechos radioactivos: incluye todos los materiales sólidos, líquidos y gaseosos contaminados con radionúclidos de fuentes abiertas (las fuentes selladas nunca se eliminan al medio externo directamente).

### **1.2.1. Riesgos biológicos y químicos de los desechos hospitalarios para el medio ambiente y las personas.**

Los desechos hospitalarios presentan riesgos biológicos y químicos, que afectan tanto al medio ambiente como a las personas. Los biológicos están determinados por los aspectos microbiológicos de los desechos, y en su rol como agentes causales de infecciones en seres humanos.

Cada vez es más importante el abordar de una forma coordinada la generación, clasificación, segregación, transporte, almacenamiento y disposición final de los DSBH generados en los centros de atención hospitalaria. Por lo que es primordial elaborar estrategias integrales, por parte de las instituciones de salud, que les permita establecer procedimientos y medidas de prevención para su manejo seguro;

a fin de disminuir los riesgos de infecciones nosocomiales, accidentes de trabajo y evitar el deterioro, en forma directa, de la calidad del aire, suelos y agua [Amaya, *et al.*, 2005].

En muchos hospitales de países en desarrollo, todos estos residuos se mezclan y queman en incineradores de baja tecnología y alto grado de contaminación, o bien a cielo abierto sin ningún tipo de control. Hoy en día se sabe que la incineración de residuos hospitalarios genera grandes cantidades de dioxinas, mercurio y otras sustancias contaminantes. Estas sustancias van a parar al aire donde pueden llegar a transportarse por miles de kilómetros y contaminar el medio ambiente a escala mundial, o terminan siendo cenizas, que en general se desechan sin tener en cuenta la carga de contaminantes tóxicos persistentes que contienen [Noharm, 2013].

La defensa de un tratamiento agresivo para parte de los desechos hospitalarios ha estado sustentada, principalmente, en evidencias sobre los riesgos de la exposición ocupacional o accidental a fuentes contaminadas dentro del entorno clínico. Se ha estimado que sólo el 1% de los accidentes con elementos cortopunzantes afecta a trabajadores hospitalarios que pudieran tener alguna participación en el manejo de los desechos después de su uso clínico [Araujo, 2001].

El buen manejo de los desechos hospitalarios hace que el diseño de los equipos para el tratamiento y disposición final de los mismos se base en el volumen de los desechos contaminados, y no así en todos los desechos del centro de salud, lo que reduce significativamente la capacidad del equipo, el tiempo de trabajo y los gastos de operación y mantenimiento de los mismos [Amaya, *et al.*, 2005].

### **1.3. La incineración.**

Al referirse a la incineración, [Rodríguez, *et al.*, 2001] plantean que la misma es un proceso térmico a alta temperatura, en el cual los residuos patogénicos son convertidos en gases residuales y sólidos incombustibles con el objetivo de reducir su volumen y peso, pudiéndose aprovechar la energía generada para obtener vapor, agua caliente y/o electricidad.

Dentro de las ventajas de la incineración podemos mencionar:

- La utilización de esta tecnología permite reducir en gran medida el peso (75 %) y el volumen (90%) de los residuos patológicos.
- Aprovechamiento de la energía generada.
- Un incinerador produce residuos de cenizas que no contienen material orgánico, y por consiguiente, puede ser usado como material de relleno previa inertización.
- Un incinerador no se ve afectado directamente por el clima o por un tiempo meteorológicamente anormal.
- Un incinerador es flexible, ya que se ajusta fácilmente para manejar fluctuaciones normales en cantidad y estado de los residuos recibidos.

Dentro de las desventajas de este proceso podemos mencionar:

- Un incinerador requiere de una gran inversión de capital. La eliminación de la contaminación ambiental exige normas de funcionamiento más estrictas, sólo realizables con refinamientos de diseño y equipos adicionales, lo cual supone mayores costos de inversión.
- Los costos de funcionamiento son relativamente altos, aunque el número de operarios puede ser menor que en otro tipo de instalaciones para el tratamiento de residuos, los sueldos de los empleados especializados que operan, mantienen y reparan un incinerador son mayores que en otros casos. El equipo y la maquinaria pueden sufrir averías, por lo que los costos de mantenimiento también son importantes.
- La incineración no es un método de eliminación completa de los residuos. Las cenizas deben eliminarse por otros métodos.
- La incineración ha sido objeto de varias críticas desde el punto de vista ambiental debido a la formación de sustancias tóxicas gaseosas, entre las más peligrosas se encuentran las dioxinas y los furanos que junto con diferentes metales pesados son emitidos a la atmósfera.

- Las cenizas, polvos arrastrados por el incinerador y escorias contienen metales pesados, los cuales son perjudiciales para el medio ambiente.

Entre los parámetros a controlar, se debe en primer lugar controlar el tipo de residuos que vamos a incinerar, podemos tener una mezcla de residuos que no han sido seleccionados previamente (residuo bruto), en este caso la combustión es más difícil de controlar ya que tenemos una mezcla heterogénea de materiales y parte de estos pueden ser no combustibles. Otra opción es que ya hubiésemos tratado los residuos previamente, para lograr una mezcla homogénea de materiales combustibles (combustible derivado de residuos), de modo que el control de la combustión será mucho mejor [Wikipedia, 2013].

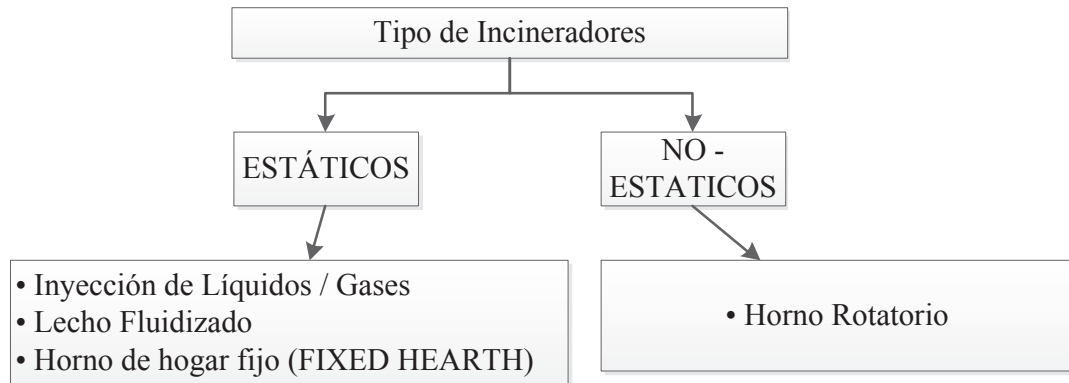
Para conseguir una incineración correcta de los residuos y una minimización de los gases contaminantes, se deben controlar, además del tipo de residuos, los siguientes parámetros:

- 1- El tiempo de residencia de los residuos en contacto con el oxígeno dentro de la cámara de incineración (tiempo de retención).
- 2- La relación entre las cantidades de oxígeno y de residuos que se mezclan.
- 3- La temperatura.

El control de estos tres parámetros es imprescindible para una correcta incineración, y además están relacionados, de modo que si variamos uno, tendremos que variar los otros en su justa medida para no perder la efectividad en la combustión.

#### **1.4. Tipos de incineradores.**

Existen distintos tipos de incineradores, los mismos para su clasificación se agrupan en las categorías descritas en la Figura 1.4.



**Figura 1.4.** Clasificación de los incineradores [Uhu, 2013].

Su selección se realiza atendiendo a los siguientes criterios.

- Propiedades básicas del residuo peligroso: estado físico, contenido calorífico y composición química.
- Capacidad de residuo peligroso a incinerar.
- Legislación vigente.

Los distintos sistemas de incineración (ver Anexo 1) se utilizan en función del residuo; como se muestra en la Tabla 1.1.

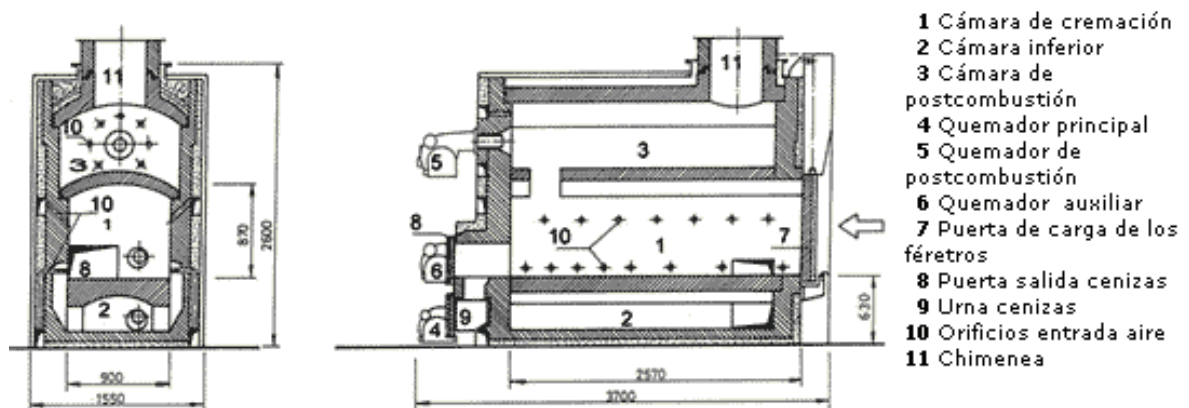
**Tabla 1.1.** Utilización de los incineradores en función del residuo [Uhu, 2013].

Tipo de residuos	Inyección líquida	Horno rotativo	Lecho fijo	Lecho fluidizado	Parrilla móvil
<b>Sólidos</b>					
Granular		X	X	X	X
Irregular		X	X		X
Bajo punto de fusión	X	X	X	X	X
Componentes orgánicos		X	X	X	X
Materiales Voluminoso		X	X		
<b>Líquido</b>					
Residuos acuosos	X	X	X	X	
Líquidos orgánicos	X	X	X	X	
<b>Sólidos/Líquidos</b>					
Con comp. aromático	X	X	X		X
Lodos orgánicos		X		X	



### 1.4.1. Características técnicas y operativas de los incineradores.

Los incineradores (Figura 1.5) tienen una estructura determinada por un grupo de características técnicas y operativas que deben cumplir, y que están acorde con los requerimientos de diseño y operacionales, los factores constructivos y las temperaturas de trabajo de los mismos.



**Figura 1.5.** Estructura de los incineradores.

Dentro del grupo de elementos antes mencionados se destacan:

- El funcionamiento del horno se basa en el principio de pirólisis de combustión controlada, por oxidación térmica progresiva de los desechos patológicos.
- El efecto térmico y la oxidación posterior se llevan a cabo en cascadas, y en cámaras independientes que concluyen con su completa reducción a cenizas inertes.
- La combustión se inicia en la cámara primaria, con la incidencia pasivada de la llama sobre los desechos cargados. Luego de un tiempo preestablecido de acción termocatalítica, se detiene el quemador automáticamente y se inyecta aire secundario con efecto oxidante que acelera la actividad combustible de los desechos.
- Los gases generados durante la pirólisis, se dirigen hacia la cámara secundaria y termoreactora, donde con exceso de aire, para conseguir un porcentaje de oxígeno libre como mínimo de un 6 % (según Normas EPA) y a alta

temperatura, son oxidados totalmente a productos finales de la combustión (CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O).

- Posteriormente, se introduce aire adicional a través de un inductor de chimenea que reduce su temperatura antes de su salida a la atmósfera.
- La temperatura de la cámara primaria será de 600 a 800 °C y la de la secundaria de 1200 °C máximo, con un tiempo de retención de gases de 2 segundos.
- Los quemadores a utilizarse pueden ser automáticos y duales (gas/gasoil).
- La chimenea estará diseñada para una temperatura de gases de 760 °C, con una velocidad de pasaje de hasta 6 m/seg; su altura deberá poseer un tiraje mínimo de 5 mm de columna de agua en la base, que deberá elevarse a 6,35 mm de columna de agua en el caso de proveerse el pasaje de los gases calientes bajo la superficie de secado, para compensar la resistencia adicional por dicho pasaje; contará con salida a los cuatro vientos y altura superior a la topografía de las construcciones más próximas.

### **1.5 Introducción a los software CAD.**

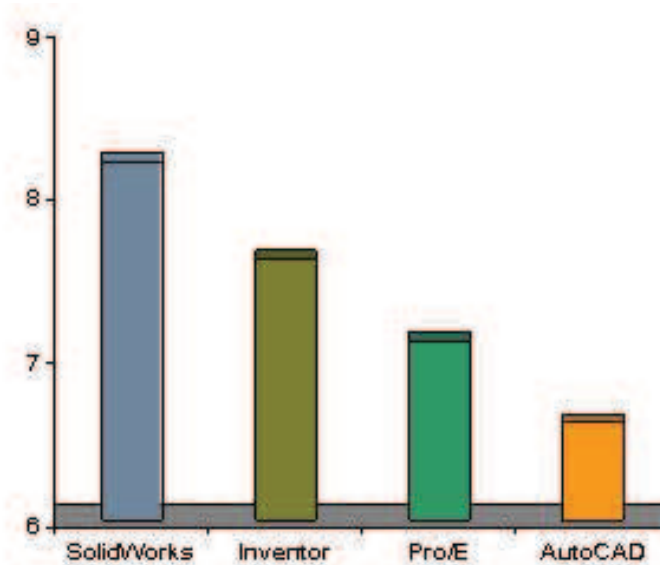
El diseño ha sido a lo largo de la historia el cálculo y análisis a la solución de un determinado problema teniendo como producto final una imagen gráfica. Esta imagen gráfica o dibujo por métodos tradicionales se elabora mediante papel y lápiz; con la informatización ascendente que se viene experimentando desde la década de los 70 surge una ciencia llamada gráfica por computadora agrupando en ella varias ramas de los efectos gráficos aplicados a la computación los cuales han ido expandiéndose en la actualidad. Una de estas ramas viene ligada al diseño y tiene por nombre diseño asistido por computadora o CAD. Para ello se han creado softwares encargados de modelar los diseños teniendo un amplio campo en la actualidad tanto en dos como en tres dimensiones. Son muchos los softwares especializados en el mundo del diseño mecánico cada uno con ciertas ventajas y desventajas como son compatibilidad y transferencias de datos, personalización, velocidad y comodidad para el diseñador, etc. Teniendo como aplicaciones fundamentales:

- Diseño conceptual y de detalle.
- Generación de planos.
- Ensamblajes.
- Catálogo de piezas normalizadas.
- Definición de tolerancias.
- Representación realista (texturas).
- Diseño de superficies.
- Creación de matrices.
- Piezas laminadas.
- Conjuntos soldados.
- Animaciones.

Las tendencias actuales de los sistemas CAD es que existen en el siglo XXI más de dos millones de usuarios en el mundo que utilizan CAD 2D conociéndose como los más relevantes calificados entre los software CAD de bajo rango están el AutoCAD y el MicroStation Modeler. Existen otros tres millones de usuarios que utilizan CAD 3D cumpliendo con las exigencias de la ingeniería moderna. Algunos de estos softwares son el Solid Edge, Mechanical Desktop, Solid Works, Catia (P1), ProEngineer Foundation, I-DEAS ArtisanPackage e Inventor calificándose todos ellos entre los de rango medio. Entre los softwares CAD 3D de alto rango se encuentran el ProEngineer, Catia (P2), I-DEAS, y Unigraphics.[Lastre, 2010]

### **1.5.1 Solid Works.**

El Solid Works, es el paquete de modelado geométrico más popular en el diseño mecánico hoy en día, además de ser uno de los más completos aplicado en la rama de la mecánica. Reconocidas firmas en el mundo lo utilizan. De ahí el hecho de ser una potente herramienta para el diseño paramétrico. Se considera que este software paramétrico junto a los otros es capaz de aumentar el rendimiento de diseño (comparado con el AutoCAD) hasta en un 40% [Calzadilla, 2005]. En encuesta realizada a más de 21,000 usuarios CAD se puede apreciar la aceptación del software (ver Figura 1.6).



**Figura 1.6.** Clasificación de aceptación de los usuarios CAD.[Simon Management Group, 2005].

El diseño del prototipo se realizó por medio del software Solid Works. El software utiliza el método de elementos finitos. Este método es aceptado como el método de análisis estándar debido a su generalidad y la idoneidad para la aplicación informática. El método de elementos finitos divide el modelo en muchos pedazos pequeños de formas simple llamados elementos efectivos, sustituyendo un problema complejo por muchos problemas sencillos que se deben resolver simultáneamente. Los elementos comparten puntos comunes llamados nodos. El software divide al modelo en partes pequeñas este proceso se llama mallado.

Cada nodo está completamente descrito por una serie de parámetros en función del tipo de análisis y el elemento utilizado. Para el análisis estructural, la respuesta de un nodo se describe, en general, por tres traslaciones y tres rotaciones, llamados grados de libertad. El software formula las ecuaciones que rigen el comportamiento de cada elemento teniendo en cuenta la conectividad con otros elementos. Estas ecuaciones refieren su respuesta a las propiedades del material conocido, las restricciones y cargas. A continuación el programa organiza las ecuaciones en un gran conjunto de sistemas de ecuaciones algebraicas y resuelve las incógnitas. En el análisis de

esfuerzo, por ejemplo, el solver encuentra los desplazamientos en cada nodo y a continuación el programa calcula la deformación y el esfuerzo final [Espe, 2012].

### **1.6 Propiedades de los materiales.**

Al seleccionar los materiales para los productos, primero se consideran sus propiedades mecánicas, físicas y químicas.

Propiedades mecánicas: Son aquellas que expresan el comportamiento de los metales frente a esfuerzos o cargas que tienden a alterar su forma como son:

Resistencia: Capacidad de soportar una carga externa si el metal debe soportarla sin romperse se denomina carga de rotura y puede producirse por tracción, por compresión, por torsión o por cizallamiento, habrá una resistencia a la rotura ( $\text{kg/mm}^2$ ) para cada uno de estos esfuerzos.

Dureza: Propiedad que expresa el grado de deformación permanente que sufre un metal bajo la acción directa de una carga determinada. Los ensayos más importantes para designar la dureza de los metales, son los de penetración, en que se aplica un penetrador (de bola, cono o diamante) sobre la superficie del metal, con una presión y un tiempo determinados, a fin de dejar una huella que depende de la dureza del metal, los métodos más utilizados son los de Brinell, Rockwell y Vickers.

Elasticidad: Capacidad de un material elástico para recobrar su forma al cesar la carga que lo ha deformado. Se llama límite elástico a la carga máxima que puede soportar un metal sin sufrir una deformación permanente. Su determinación tiene gran importancia en el diseño de toda clase de elementos mecánicos, ya que se debe tener en cuenta que las piezas deben trabajar siempre por debajo del límite elástico, se expresa en  $\text{kg/mm}^2$ .

Tenacidad: Resistencia a la rotura por esfuerzos de impacto que deforman el metal. La tenacidad requiere la existencia de resistencia y plasticidad.

Plasticidad: Capacidad de deformación permanente de un metal sin que llegue a romperse.

**Fatiga:** Si se somete una pieza a la acción de cargas periódicas (alternativas o intermitentes), se puede llegar a producir su rotura con cargas menores a las que producirían deformaciones.

**Fluencia:** Propiedad de algunos metales de deformarse lenta y espontáneamente bajo la acción de su propio peso o de cargas muy pequeñas. Esta deformación lenta, se denomina también creep.

A continuación debe tenerse en cuenta las propiedades físicas de los materiales como son:

**Calor específico:** Es la cantidad de calor necesaria para elevar en 1°C la temperatura de 1 kg de determinada sustancia. El calor específico varía con la temperatura. En la práctica se considera el calor específico medio en un intervalo de temperaturas.

**Dilatación:** aumento de tamaño de los materiales, a menudo por efecto del aumento de temperatura.

**Punto de fusión:** Es la temperatura a la cual un material pasa del estado sólido al líquido, transformación que se produce con absorción de calor.

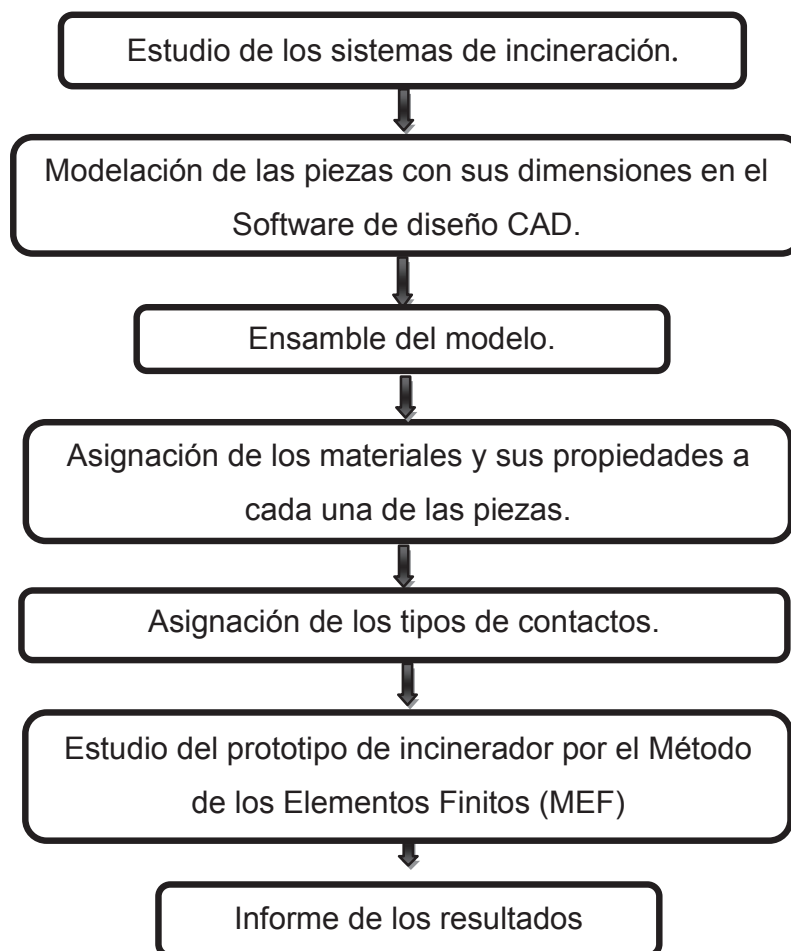
**Peso específico:** El peso específico puede ser absoluto o relativo: el primero es el peso de la unidad de volumen de un cuerpo homogéneo. El peso específico relativo es la relación entre el peso de un cuerpo y el peso de igual volumen de una sustancia tomada como referencia; para los sólidos y líquidos se toma como referencia el agua destilada a 4°C [Utp, 2009].

## Capítulo 2. Materiales y métodos.

### 2.1. Introducción.

En el presente capítulo se exponen los aspectos fundamentales que se tuvieron en cuenta para el diseño de un incinerador para desechos hospitalarios. Se hace una descripción de la metodología utilizada para el establecimiento de su estructura y parámetros de trabajo adecuados.

### 2.2 Procedimiento para diseñar el prototipo de incinerador para desechos hospitalarios.



**Figura 2.1.** Diagrama de flujo para el diseño del prototipo de incinerador para desechos hospitalarios.

### 2.3 Modelación de las piezas con sus dimensiones en el Software de diseño CAD.

Para modelar el prototipo se utilizó el software de diseño asistido por computadora Solid Works Premium en su versión 2012, siendo este una potente herramienta de diseño utilizada a nivel mundial. En dicho software se modelaron en 3D (3 Dimensiones) cada una de las piezas con que cuenta el prototipo. Las piezas que conformaron definitivamente el prototipo son las siguientes: Estructura metálica, puerta, paredes, chimenea, junta, quemadores.

### 2.4 Ensamble del modelo de incinerador para desechos hospitalarios.

Para el ensamble de las piezas que conforman el modelo del prototipo se utilizó el módulo de ensamble del software Solid Works Premium 2012 aplicando relaciones de posición entre cada una de las superficies que tienen relación entre sí, de manera tal que quedase el ensamble general.

### 2.5 Asignación de los materiales y sus propiedades a cada pieza.

Luego de lograr el ensamble completo del prototipo, se le asignaron los materiales con sus respectivas propiedades mecánicas a cada una de las piezas que conforman el prototipo de incinerador después de un estudio previo de cada material. Todas estas designaciones bajo las condiciones de la norma AISI (American Iron and Steel Institute) como se muestra en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1** Materiales empleados en cada componente.[Aisi, 2012]

Componentes	Material empleado
Estructura metálica	AISI 1020
Puerta	AISI 1020
Paredes	Ladrillo refractario
Chimenea	Ladrillo refractario
Junta	Caucho de alta temperatura
Placa	Concreto



### Capítulo 3. Análisis y discusión de los resultados.

En este capítulo se exponen los aspectos fundamentales tenidos en cuenta en el diseño del prototipo de incinerador de desechos hospitalarios. Los resultados se han obtenido al modelar los componentes de dicho incinerador en el software SolidWorks 2012, comentado en los materiales y métodos definidos en el capítulo anterior.

#### 3.1 Concepción de un principio de solución.

La búsqueda de los principios de solución para obtener un prototipo incinerador de desechos hospitalarios se realizó a través de una matriz morfológica (Tabla 3.1), la cual permite la obtención de las soluciones por la combinación sistemática de un conjunto de conceptos posibles. Para la estructura se tuvieron en cuenta dos principios de solución, una utilizando perfiles tipo canal (C) y otra con tubos de cuadrado de 40x40mm. Para el sistema de quemado a utilizar se analizó un quemador convencional el cual trabajará con fuel como combustible y deberá encender con diésel. En el caso de los aislantes térmicos se tuvo en cuenta tres posibles soluciones, las cuales consisten en: paredes de ladrillo refractario, ladrillos rojos moldeados a mano y ladrillos de cerámica. El caucho de alta y baja resistencia a la temperatura son las variantes analizadas en cuanto a las juntas de hermeticidad de la puerta. Quedando lo anteriormente mencionado, expuesto en la Tabla 3.1.

Una vez establecidos los diferentes principios de solución para desarrollar el prototipo, se calculó el número total de combinaciones posibles de conceptos, a partir de la ecuación (3.1)






$$TCS = \prod_{p=1}^{p_{MAX}} N_{inSol} \quad (3.1)$$

$$TCS = 2*1*3*2*1$$

$$TCS = 12 \text{ posibles conceptos}$$

Se obtienen 12 posibles conceptos, como soluciones teóricas para el caso que se analiza del prototipo de incinerador para desechos hospitalarios.

**Tabla 3.1** Matriz morfológica desarrollada para el prototipo incinerador para desechos hospitalarios.



Denominación	1	2	3
Estructura	Perfil canal 	Tubos 40x40 mm 	
Sistema de quemado	Quemador convencional		
Aislante térmico	Ladrillos rojos moldeados a mano 	Ladrillo refractario	Ladrillos de cerámica
Junta de puerta	Caucho alta temp. 	Caucho de baja temp. 	
Combinaciones de los principios de solución			

### 3.2 Evaluación de la factibilidad del principio de solución.

En la Tabla 3.2 se muestran los conceptos factibles para realizar el diseño básico y de detalle del prototipo incinerador para desechos hospitalarios.

**Tabla 3.2** Soluciones factibles del prototipo incinerador para desechos hospitalarios.

Denominación	1	2	3
Estructura	Perfil canal	Tubos 40x40 mm	
Sistema de quemado	Quemador convencional		
Aislante térmico	Ladrillos rojos moldeados a mano	Ladrillo refractario	Ladrillos de cerámica
Junta de puerta	Caucho alta temperatura.	Caucho de baja temperatura.	
Combinaciones de los principios de solución			

Leyenda:  Variantes de solución.  
 Variante de solución adoptada para la construcción.

Para demostrar las posibles variantes a desarrollar en la investigación, se mostrarán dos conceptos, de los 12 posibles conceptos.

Variante de Concepto 1 = Tubos 40x40 mm + Quemador convencional + Ladrillos rojos moldeados a mano + Caucho de baja temperatura

Variante de Concepto 2 = Perfil canal + Quemador convencional + Ladrillo refractario + Caucho alta temperatura

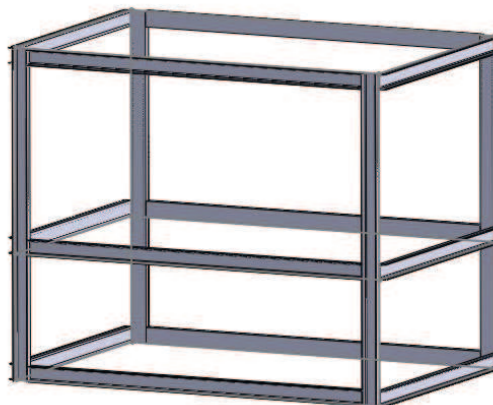
De esta forma se puede disponer de variantes de elementos para el diseño del prototipo incinerador para desechos hospitalarios, como referencia para someter a la evaluación conceptual de soluciones y determinar cuál de ellas cumple con los requerimientos funcionales que satisfacen el proceso de incineración.

### **3.3 Concepción final del prototipo.**

Una vez que se ha probado la factibilidad del principio de solución, la concepción final consiste en la integración de los diversos elementos componentes. En el caso estudiado se tuvo en cuenta la correcta integración física entre cada uno de los componentes del principio de solución seleccionado para el diseño del prototipo incinerador para desechos hospitalarios.

#### **3.3.1 Descripción dimensional de las piezas que componen el prototipo incinerador para desechos hospitalarios.**

Las piezas pertenecientes al prototipo incinerador para desechos hospitalarios se modelaron en software de diseño SolidWorks Premium 2012. Para el diseño de este prototipo se emplearon elementos de la biblioteca de diseño que se encuentran en el Toolbox, como es el caso de la estructura metálica donde se emplearon perfiles canales tipo C de dimensiones 120x12 mm, la estructura cuenta con dimensiones de 3 x 2 x 2,5 m de largo, ancho y alto respectivamente, como se muestra en la Figura 3.1.



**Figura 3.1.** Representación del modelo 3D, perfiles canales de la estructura metálica del prototipo incinerador para desechos hospitalarios.

Para las paredes del prototipo incinerador de desechos hospitalarios se utilizará ladrillos refractarios, los cuales presentan buenas propiedades en cuanto a resistencia a la inflamabilidad y resistencia térmica, en la Figura 3.2 se evidencia la representación gráfica de este tipo de material.



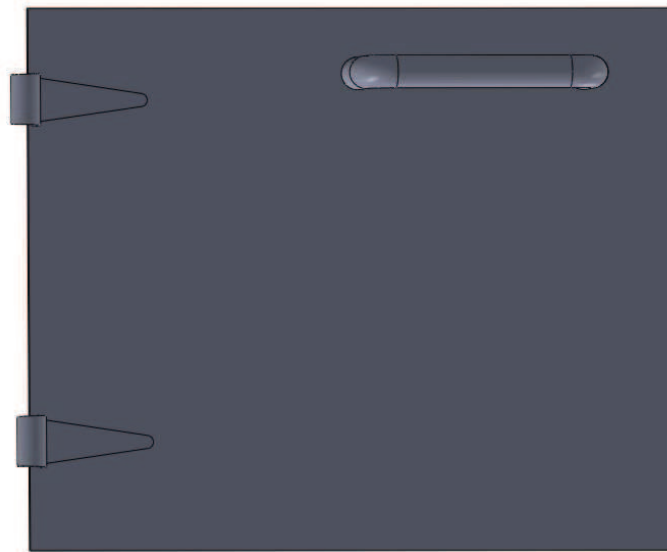
**Figura 3.2.** Representación del modelo 3D de las paredes utilizada en el prototipo incinerador para desechos hospitalarios.

Para el elemento que garantizará la hermeticidad del prototipo y lograr que se alcance la temperatura requerida se propone como material para su fabricación caucho de alta temperatura, en la Figura 3.3 se muestra la junta de caucho de alta temperatura.



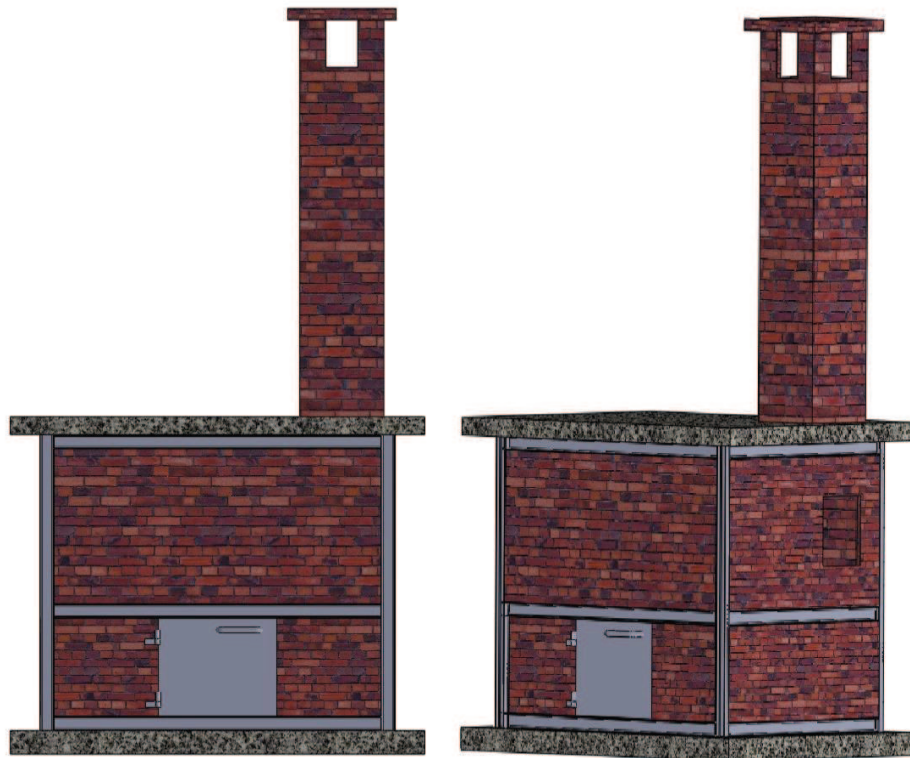
**Figura 3.3.** Representación del modelo 3D de la junta de la puerta utilizada en el prototipo incinerador para desechos hospitalarios.

La puerta del prototipo incinerador para desechos hospitalarios se concibe con una chapa metálica de 10 mm de espesor, así como la agarradera que permite la apertura y cierre del prototipo, en la Figura 3.4 se muestra gráficamente la representación de la puerta.



**Figura 3.4.** Representación del modelo 3D de la puerta del prototipo incinerador para desechos hospitalarios.

En la Figura 3.5 se muestra la representación gráfica del ensamble del prototipo de incinerador para desechos hospitalarios en el que se puede evidenciar cada uno de los componentes que intervienen en el cumplimiento del destino de servicio. Este prototipo tendrá una capacidad de 15m<sup>3</sup>.



**Figura 3.5.** Representación gráfica del ensamble del prototipo de incinerador para desechos hospitalarios.

### **3.4 Propiedades físicas y mecánicas de los materiales de cada modelo de pieza.**

Se tuvieron en cuenta las propiedades físico-mecánicas de los materiales utilizados en el prototipo incinerador para desechos hospitalarios, valorando el valor del módulo elástico, coeficiente de Poisson, módulo a la cortante, densidad del material, el límite a la tracción, límite a la compresión y el límite elástico. Las propiedades mecánicas del acero al carbono AISI 1020 (American Iron and Steel Institute) se pueden observar en la Tabla 3.3 los valores reflejados en dicha tabla corresponden a la estructura o armadura y la puerta del prototipo.

**Tabla 3.3.** Propiedades mecánicas del acero AISI 1020 [Aisi, 2012; Metales, 2012; Shackelford y Güemes, 2000]

<b>Propiedad mecánica</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Módulo de elasticidad en X	200000	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson en XY	0.29	N/D
Módulo cortante en XY	77000	N/mm <sup>2</sup>
Densidad de masa	7900	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción en X	420.51	N/mm <sup>2</sup>
Límite de compresión en X		N/mm <sup>2</sup>
Límite elástico	351.57	N/mm <sup>2</sup>
Calor específico	420	J/(kg·K)

En el caso de las juntas utilizadas para lograr la hermeticidad del prototipo incinerador para desechos hospitalarios, el material empleado corresponde a caucho resistente a alta temperatura, las propiedades de este material quedan evidenciadas en la Tabla 3.4

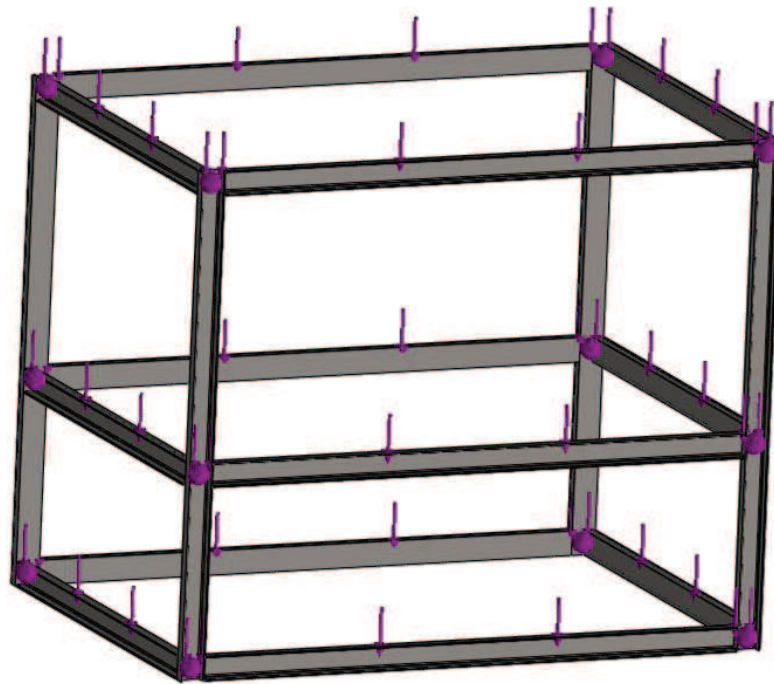
**Tabla 3.4.** Propiedades mecánicas del caucho de alta temperatura [Shackelford y Güemes, 2000]

<b>Propiedad mecánica</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Módulo de elasticidad en X	210000	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson en XY	0.28	N/D
Módulo cortante en XY	79000	N/mm <sup>2</sup>
Densidad de masa	7700	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción en X	723.83	N/mm <sup>2</sup>
Límite elástico	620.42	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica en X	1.3e-005	/K
Conductividad térmica en X	50	W/(m·K)
Calor específico	460	J/(kg·K)



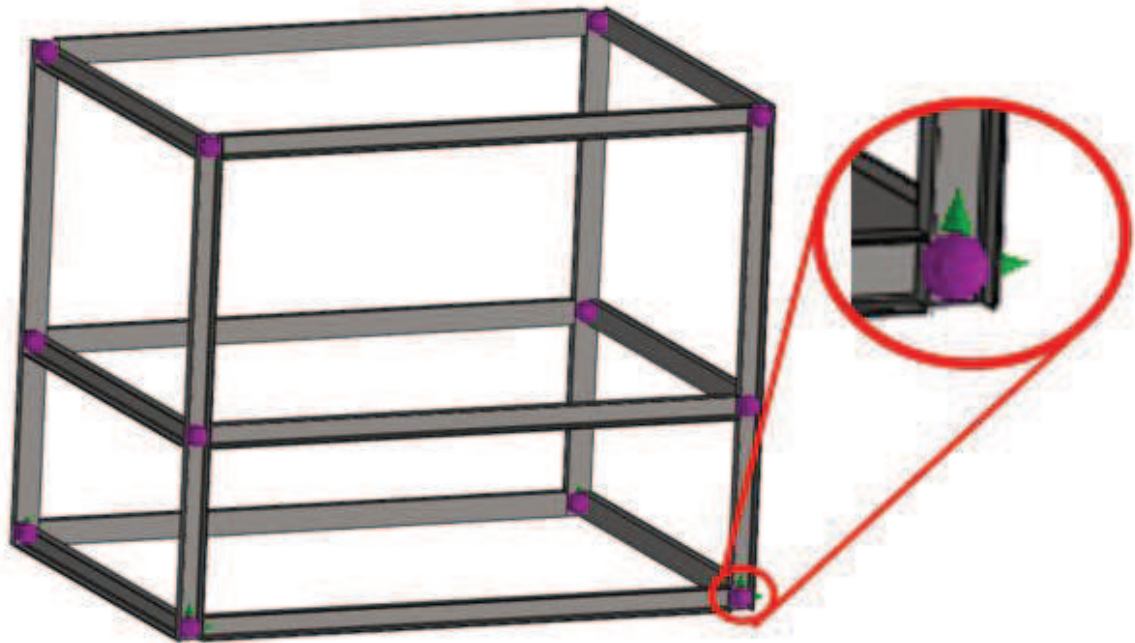
### 3.5 Análisis de las cargas y restricciones presentes en los modelos.

Las cargas que se encuentran presente en el estudio son equivalentes a N la cual se deriva de la acción producida por el peso de las paredes, la placa y la chimenea del prototipo incinerador para desechos hospitalarios esta se proyecta sobre la estructura metálica del modelo como se muestra en la Figura 3.6, está fuerza se considera que actúa perpendicular a la superficie con un valor de 4679,5 y 1412,1 N respectivamente para el caso de las paredes superiores, mientras que para el caso de las paredes inferiores el valor de fuerza aplicada es de 1232,8 y 893,7 N, en el caso de la placa (techo) y la chimenea del prototipo estas ejercen un valor de fuerza de 10266,4. Mientras que las restricciones se simularon en el estudio como una geometría fija en la superficie de apoyo del prototipo.



**Figura 3.6.** Representación de las fuerzas actuantes en el modelo.

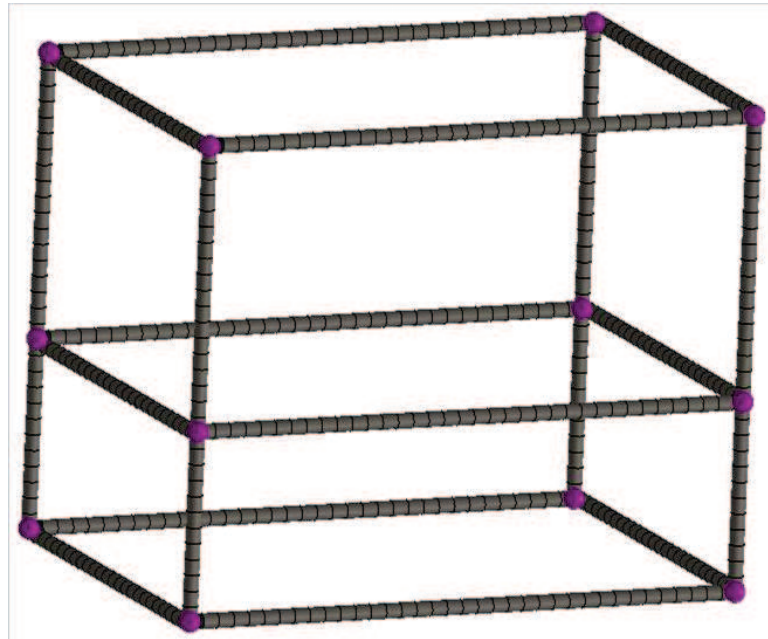
En la Figura 3.7 se muestran las restricciones que se tuvieron en cuenta, siendo estas de geometrías fijas en el piso de la estructura metálica como se puede observar en la Figura 3.8.



**Figura 3.7.** Representación de las restricciones actuantes en el modelo.

### 3.6 Mallado de los modelos.

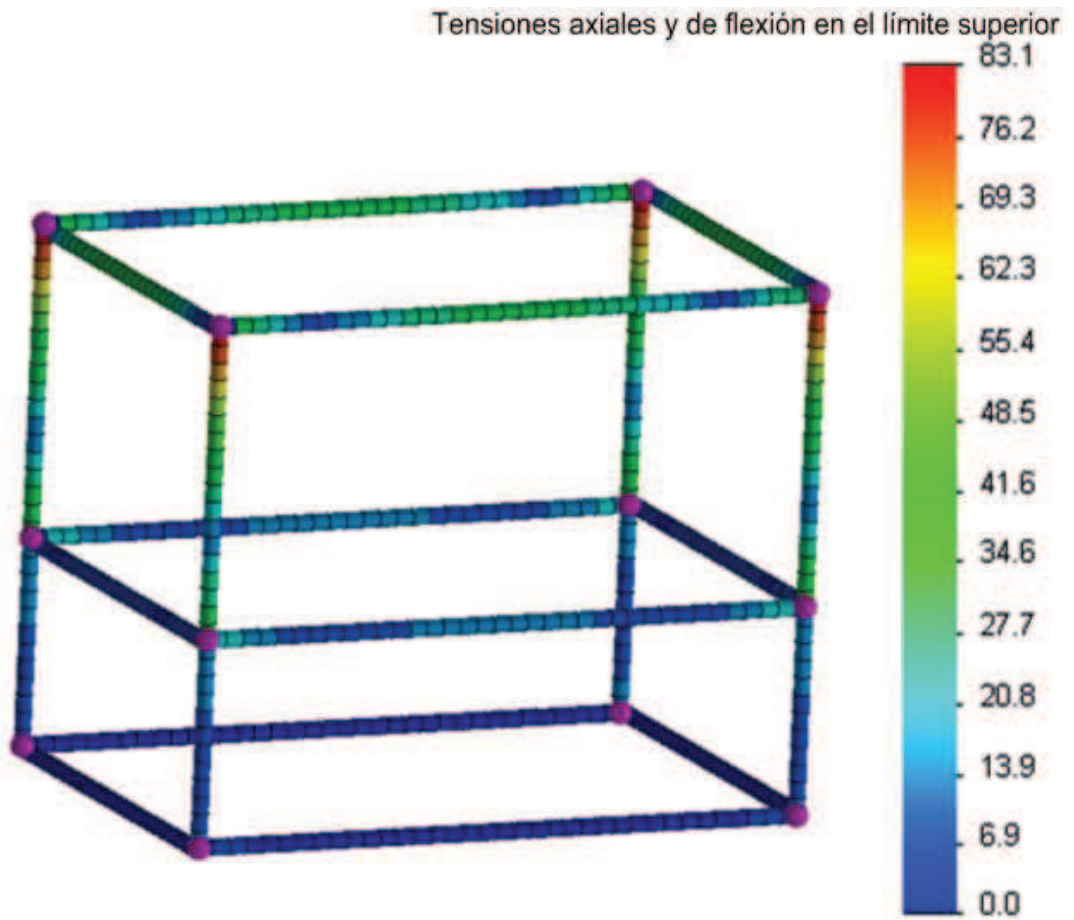
Para el mallado de los modelos se simplificó el modelo, primeramente se realizó un estudio estático para determinar el comportamiento del prototipo incinerador para desechos hospitalarios con la fuerza que ejercen las paredes sobre la estructura metálica. Se excluyeron del estudio a algunas piezas consideradas no significativas para el estudio. Para el mallado se utilizó malla de viga, con un total de 498 elementos y 506 nodos. Vea la representación del mallado de este estudio en la Figura 3.9.



**Figura 3.8.** Representación gráfica del mallado del modelo.

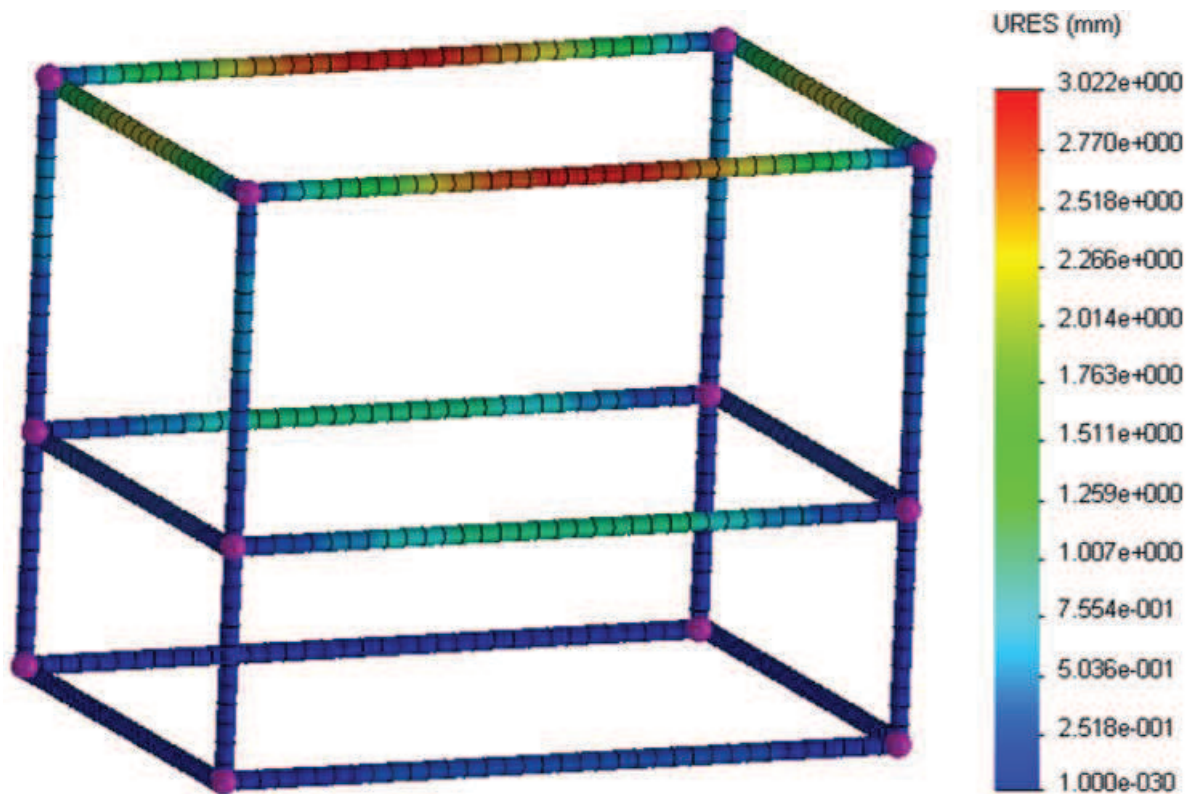
### **3.7 Análisis de los resultados obtenidos.**

En los informes de los estudios realizados, se tomaron en cuenta los resultados de un estudio estructural obteniendo el valor de: las tensiones axiales y de flexión en el límite superior, los desplazamientos resultantes y el factor de seguridad para el modelo. En el estudio de la estructura metálica se obtuvieron valores de tensiones axiales y de flexión en el límite superior de 83,1 MPa, como se muestra en la Figura 3.8 encontrándose estas tensiones por debajo del límite elástico del material de la estructura, lo que indica que la estructura podrá soportar la carga a la que estará sometida durante el cumplimiento de su destino de servicio.



**Figura 3.9.** Representación gráfica de Tensiones axiales y de flexión en el límite superior en el estudio de prototipo incinerador para desechos hospitalarios.

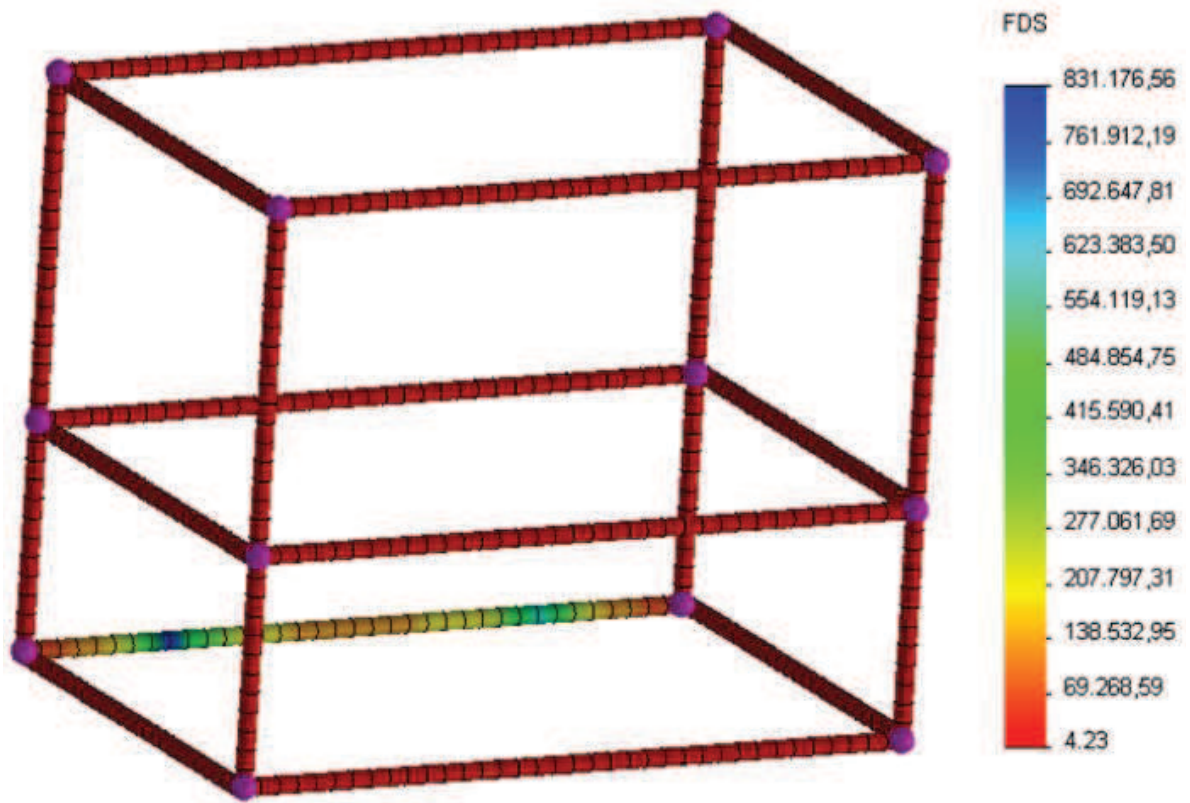
En los desplazamientos resultantes de este estudio se evidencian un valor máximo de desplazamiento es de 3.02 mm como se muestra en la Figura 3.10, lo que demuestra que estos desplazamientos no son considerables para el desempeño de la estructura metálica atendiendo a sus dimensiones.



**Figura 3.10.** Representación gráfica de los desplazamientos resultantes en el estudio del prototipo incinerador para desechos hospitalarios.

El análisis de los factores de seguridad es de vital importancia durante la fase de diseño de cualquier máquina, elemento o piezas. En este caso se analizó el factor de la estructura metálica, la representación gráfica de este factor de seguridad se muestra en la Figura 3.11.





**Figura 3.11.** Representación gráfica del factor de seguridad.

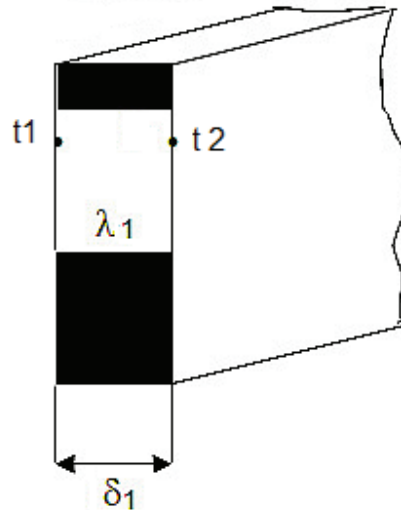
Para la estructura metálica se puede observar que el factor de seguridad en este estudio indica que los elementos de la estructura podrán soportar las cargas a las que estarán sometidos durante el cumplimiento de su destino de servicio, y se encuentra en un valor de 4,23, lo que indica que el prototipo pudiera soportar cierta cantidad de cargas.

### **3.8 Cálculo térmico de la pared del prototipo de incinerador para desechos hospitalarios.**

Es de vital importancia determinar cantidad de calor que se transmite a través de la pared del prototipo, por lo tanto a continuación se procede a realizar dicho cálculo.

El valor de la temperatura en el interior del incinerador es 1200 °C, en el exterior es de 30 °C, el coeficiente de transferencia de calor del ladrillo refractario es de 0,77 W/m°C [Krasnoschiokov, 1988], por tanto en la Figura 3.12 se muestra la pared por la

que está compuesto el prototipo de incinerador para desechos hospitalarios. El espesor de la pared es de 200 mm, mientras que el área de la pared es 6 m<sup>2</sup>.



**Figura 3.12.** Representación gráfica de la pared plana del prototipo de incinerador para desechos hospitalarios.

Con la ecuación 3.1 se determina densidad de flujo de calor en  $w/m^2$ .

$$q = \frac{t_{w_1} - t_{w_2}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1}} \dots\dots\dots 3.1$$

$$q = \frac{1200 - 30}{\frac{0,2}{0,77}} = W / m^2$$

Con la ecuación 3.2 se calcula cantidad de calor que se transmite a través de la pared en W.

$$Q = F * q \dots\dots\dots 3.2$$

$$Q = 6m^2 \times 4517,3W / m^2$$

$$Q = 27103,8W$$

**III - CONCLUSIONES.**

1. Se determinaron las características dimensionales del prototipo incinerador para desechos hospitalarios.
2. Se determinaron los principales desechos que serán incinerados.
3. Se realizó el análisis por el método de los elementos finitos de la estructura metálica, quedando demostrado que la estructura podrá soportar las condiciones de carga a las que estará sometida.



**IV - RECOMENDACIONES.**

Se propone:

1. Diseñar un sistema de control automático para el prototipo.

## V - BIBLIOGRAFÍA

1. [Noharm, 2013] NOHARM, "Residuos Hospitalarios", ([http://www.noharm.org/salud\\_sin\\_danio/temas/residuos/](http://www.noharm.org/salud_sin_danio/temas/residuos/)), (Consultada el, 15 Abril 2013).
2. [Araujo, 2001] Miguel ARAUJO, "Desechos Hospitalarios: Riesgos Biológicos y Recomendaciones Generales Sobre su Manejo", Ministerio de Salud Chile División de Inversiones y Desarrollo de la Red Asistencial Departamento de Calidad en la Red Unidad de Evaluación de Tecnologías de Salud 2001.
3. [Amaya, *et al.*, 2005] Axel A. AMAYA, Hugo A. RUIZ, y Rafael E. TAURA, "Propuesta de solución de un sistema de degradación de desechos biológicos infecciosos hospitalarios, diagnóstico y rediseño del sistema electromecánico de los equipos, con aplicación al hospital regional del ISSS de Santa Ana", Facultad de Ingeniería, Universidad Don Bosco, San Salvador, Trabajo de graduación para optar al grado de Ingeniero Electricista. 2005.
4. [Rio-B, 2013] Rio-b, "RIO-B Residuos en Islas Oceánicas", ([http://www.rio-b.com/spanish/resultados\\_9residuoshospitalarios.htm](http://www.rio-b.com/spanish/resultados_9residuoshospitalarios.htm)), (Consultada el, 20 Mayo 2013).
5. [Balarezo, 2005] Mauro BALAREZO, "Gestión de Desechos Hospitalarios", Puerto Ordaz, 2005.
6. [Polo y Romero, 2009] María C. POLO y Horacio ROMERO, "Diseño, planificación del sistema de gestión ambiental en una planta Incineradora en Colombia para residuos hospitalarios y similares", Facultad de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga Colombia, Especialista en Ingeniería Ambiental 2009.
7. [Wikipedia, 2013] WIKIPEDIA, "Incineración", (<http://es.wikipedia.org/wiki/Incineración>), (Consultada el, 15 Abril 2013).
8. [Ars, 1999] ARS, "Curso sobre Manejo de Residuos de Establecimientos Hospitalarios": Asociación para el Estudio de los Residuos Sólidos – Argentina, 1999.
9. [Rodríguez, *et al.*, 2001] Rosa RODRIGUEZ, Mareelo ECHEGARAY, María CASTRO, Stella María UDAQUIOLA, y Klaus HEKTOR, "Incineración de residuos patológicos", San Juan Argentina, 2001.

10. [Uhu, 2013] UHU, "Sistemas de incineración", (<http://www.uhu.es/sevirtual/ocw/politecnico/tecnicas-tratamiento-contaminacion/material/008.pdf>), (Consultada el, 15 Abril 2013).
11. [Lastre, 2010] A. M. Lastre, "Proyección de los procesos tecnológicos", en *[Conferencia Maestría CAD/CAM]* Centro de Estudios CAD/CAM, Universidad de Holguín., 2010.
12. [Calzadilla, 2005] H. Calzadilla, "Optimización del bastidor principal de un Alisador agrícola para el cultivo del arroz", Universidad de Holguín, CE: CAD/CAM, Tesis para optar por el título de máster en CAD-CAM 2005.
13. [Simon Management Group, 2005] Simon Management Group, ""Encuesta a más de 20 000 usuarios CAD"" , (Consultada el [consulta Octubre 2011]).
14. [Espe, 2012] ESPE, "CAPITULO 4. Solid Works", (Consultada el 15 Octubre 2011).
15. [Utp, 2009] UTP, "PROPIEDADES DE LOS METALES Propiedades físicas y mecánicas", (Consultada el 07 Noviembre 2011).
16. [Aisi, 2012] AISI, "American Iron and Steel Institute", 2012.
17. [Metales, 2012] PROPIEDADES DE LOS METALES, ""Propiedades físicas y mecánicas"". (<http://www.utp.edu.co>), (Consultada el 2012).
18. [Shackelford y Güemes, 2000] J. F. Shackelford y A. Güemes, *"Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*, Ed. Prentice-Hall ed., 2000.
19. [Krasnoschiokov, 1988] Krasnoschiokov, *Problemas de termotransferencia* 1988.

## VI – ANEXOS

### Anexo 1. Sistemas de incineración.

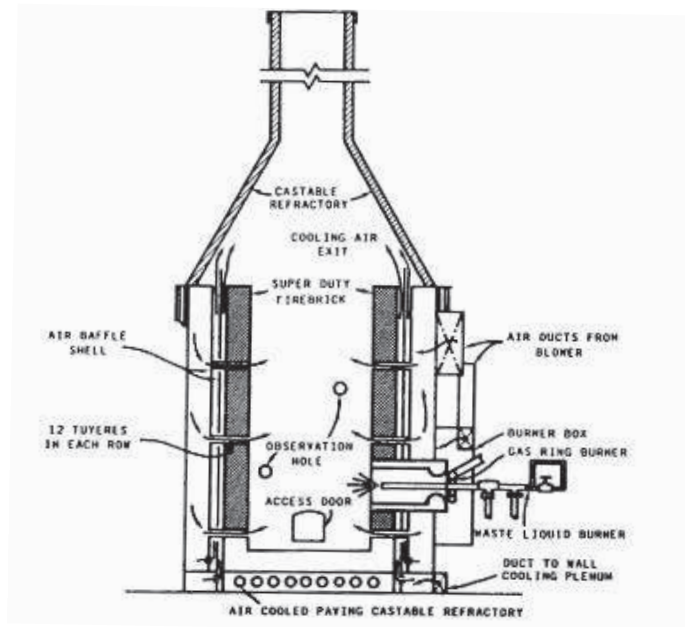


Figura A.1. Cámaras de Inyección de líquidos.

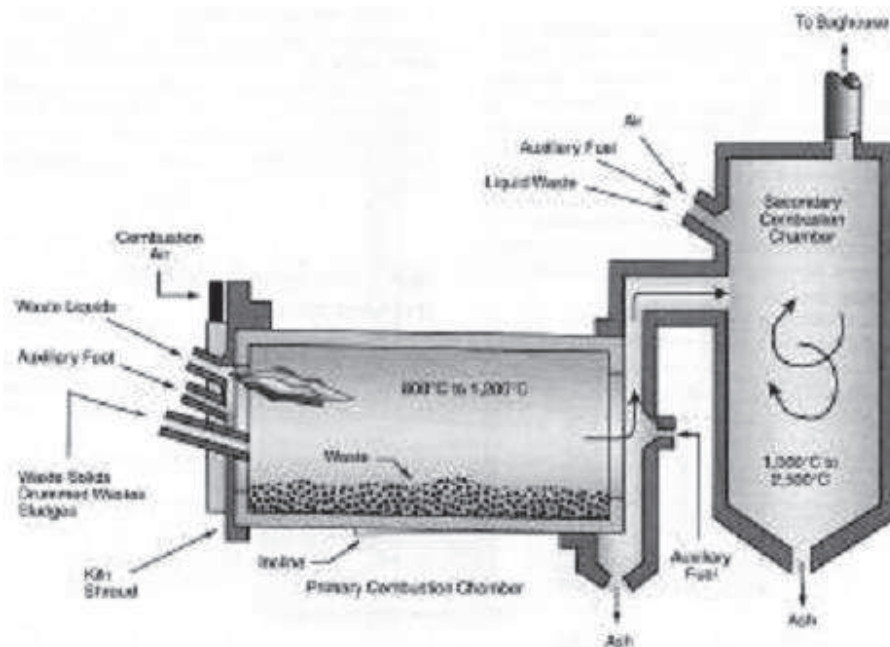


Figura A.2. Horno rotatorio.

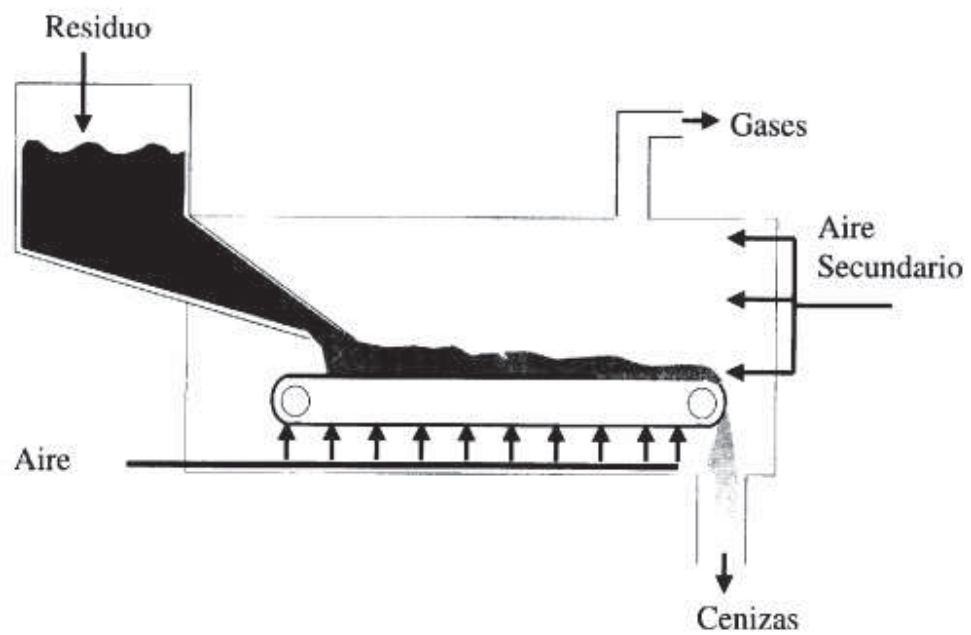


Figura A.3. Parrilla móvil.

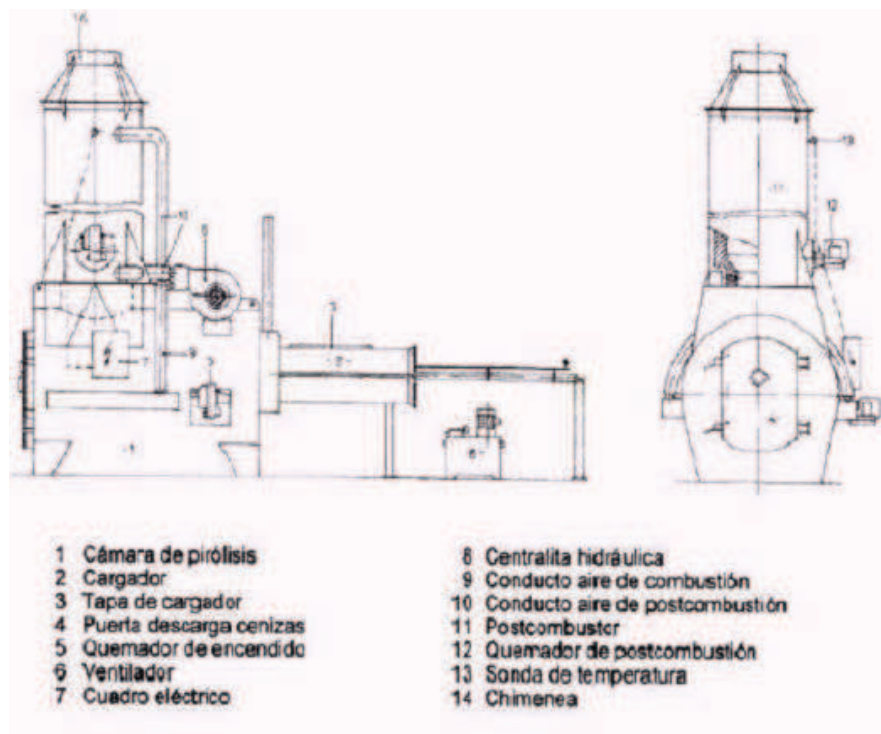
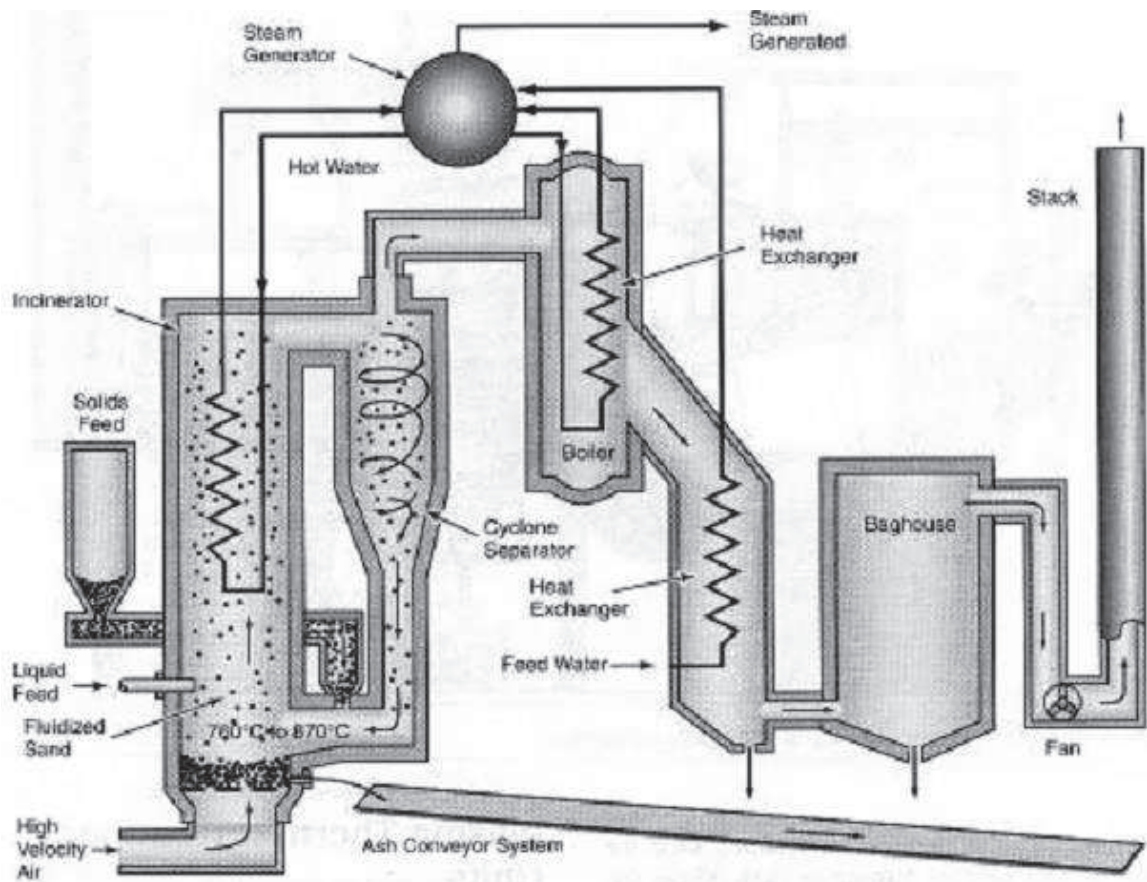


Figura A.4. Hornos de hogar fijo.



**Figura A.5.** Lecho fluidizado.