

**DISEÑO DE UN HORNO CREMATORIO PARA DESECHOS ORGÁNICOS EN  
LA CLÍNICA SAN JORGE Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO**

**ROBINSON ANTONIO MARTINEZ SANDOVAL  
ROBERT JAVIER MANJARES RODRIGUEZ**

**TECNOLOGÍA DE BOLÍVAR INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**CARTAGENA DE INDIAS D.T y C**

**2002**

**DISEÑO DE UN HORNO CREMATORIO PARA DESECHOS ORGÁNICOS EN  
LA CLÍNICA SAN JORGE Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO**

**ROBINSON ANTONIO MARTÍNEZ SANDOVAL**

**ROBERT JAVIER MANJARRES RODRÍGUEZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título  
de Ingeniero Mecánico**

**Director**

**BENJAMÍN ARANGO ZABALETA**

**Ingeniero Metalurgico**

**TECNOLÓGICA DE BOLIVAR INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**

**CARTAGENA DE INDIAS D.T y C**

**2002**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

Cartagena de Indias D.T y C 15 de Enero de 2002

A DI OS POR DA RME F ORTA LEZA S  
EN LOS MOMENTOS DI F Í CI LES,  
A MI MA DRE POR EL A POYO I NCONDI CI ONA L  
EN TODOS ESTOS A ÑOS DE ESTUDI O,  
A MI NOVI A POR SER LA F UENTE DE  
MOTI VA CI ÓN EN ESTE PROYECTO,  
A MI S F A MI LI A RES POR CREER EN MI .

ROBI NSON MA RTI NEZ S

## **ARTICULO 107**

La institución se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grados aprobados, los cuales no pueden ser explotados comercialmente sin su autorización. Esta observación debe quedar impresa en parte visible del proyecto.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan su agradecimiento a :

Segundo Posada, Ingeniero Químico

Oliva Primera, Analista

Emerson Mendoza, Ingeniero de Mantenimiento Clínica Enrique de la Vega

Jaime Quiroz, Auxiliar de Mantenimiento Hotel Caribe.

Dr. Samuel Iguaran, Socio Clínica San Jorge

Fredy Colpas, Ingeniero Químico

Antonio Ávila, Ingeniero Químico

Dr. Gustavo Barrios, Gerente Clínica San Jorge

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. LOS RESIDUOS	4
1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS	7
1.1.1 Residuos sólidos urbanos (rsu)	8
1.1.2 Residuos industriales	9
1.1.2.1 Residuos inertes.	9
1.1.2.2 Residuos asimilables a urbanos	9
1.1.2.3 Residuos tóxicos y peligrosos(RTP).	10
1.1.3 Residuos hospitalarios	10
1.1.4 Residuos mineros.	10
1.1.5 Residuos forestales	10
1.1.6 Residuos agrícolas	11
1.1.7 Residuos ganaderos.	11
1.1.8 Residuos radioactivos	11
1.2 CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS HOSPITALARIOS	11
1.2.1 Residuos bioinfecciosos.	12
1.2.1.1 Infecciosos	13
1.2.1.2 Patológicos	13

1.2.1.3	Punzocortantes.	14
1.2.2	Residuos comunes.	14
2.	TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS HOSPITALARIOS	17
2.1	TIPOS DE TRATAMIENTOS	18
2.1.1	Autoclave.	18
2.1.2	Tratamiento con microondas.	20
2.1.3	Incineración.	22
3.	PROCESO DE INCINERACIÓN	24
3.1	PROCESO DE COMBUSTION	26
3.2	SISTEMAS DE INCINERACIÓN	29
3.2.1	Hornos de parrillas	29
3.2.2	Hornos rotatorios.	31
3.2.3	Horno de lecho fluidizado.	32
3.2.4	Hornos para líquidos.	34
3.3	EL INCINERADOR	36
4.	SISTEMAS DE CONTROL AMBIENTAL	38
4.1	EQUIPAMENTOS PARA CONTROLAR PARTÍCULAS	39
4.1.1	Precipitadores electrostáticos.	39
4.1.2	Filtro de mangas.	40
4.1.3	Filtro electrostático de grava.	42
4.1.4	Ciclón	42
4.2	EQUIPAMIENTO PARA EL CONTROL DE NO <sub>x</sub>	43

4.3 EQUIPAMIENTO PARA CONTROLAR GASES ÁCIDOS	44
4.3.1 Separación de origen.	45
4.3.2 Depuración húmeda.	45
4.3.3 Depuración seca	47
4.4 EQUIPAMIENTO PARA EL CONTROL DE CO Y HC	49
4.5 EQUIPAMIENTO PARA EL CONTROL DE DIOXINAS, FURANOS Y METALES	50
5. SITUACIÓN ACTUAL DE LA CLINICA	53
5.1 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA CLÍNICA SAN JORGE	54
5.1.1 Planta de personal.	55
5.2 SERVICIOS QUE PRESTA LA CLINICA SAN JORGE	57
5.2.1 Consulta Externa	57
5.2.2 Cirugía.	58
5.2.3 Apoyo Diagnostico.	58
5.2.4 Urgencias medicas.	60
5.2.5 Medicina especializada.	61
5.2.6 Farmacia.	61
5.2.7 Enfermería.	62
5.2.8 Dietética y nutrición.	62
5.2.9 Psicología.	63
5.2.10 Detección precoz del C.A de cerviz.	63
5.2.11 Lactancia materna	63

5.2.12 Crecimiento y desarrollo	64
5.2.13 Programa para adolescentes	64
5.2.14 Programa de educación en salud.	64
5.3 HORARIO DE ATENCIÓN	65
5.4 INFRAESTRUCTURA Y DOTACIÓN	65
5.4.1 Infraestructura.	65
5.4.2 Dotación	66
5.4.2.1 Área quirúrgica	67
5.4.2.2 Sala de parto	67
5.4.2.3 Sala de curetaje	68
5.4.2.4 Sala de neonato	68
5.4.2.5 Sala de recuperación	69
5.4.2.6 Central de esterilización	69
5.4.2.7 Urgencias.	69
5.4.2.8 Sala de pediatría	70
5.6 SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS DE LA CLÍNICA SAN JORGE	71
5.6 CANTIDAD DE RESIDUOS GENERADOS EN LA CLÍNICA SAN JORGE	72
6. DISPOSICIÓN FINAL	81
7. ESTUDIO DE UBICACIÓN DEL EQUIPO	83
7.1 NORMAS GENERALES DE LA INSTALACIÓN DE UN EQUIPO DE INCINERACIÓN	84
7.1.1 Área física, ubicación y condiciones ambientales	85

7.2 DEFINICIONES DEL LUGAR PARA LA INSTALACIÓN DEL EQUIPO	87
7.2.1 Ubicación en la clínica	88
7.2.2 Ubicación en área no habitada	88
7.2.2.1 Costos.	89
8. CONTROL SONORO	91
8.1 EFECTOS PSICOLÓGICOS DEL RUIDO	91
8.1.1 Efectos sobre el sueño	92
8.1.2 Efectos sobre la conducta	92
8.1.3 Efectos en la memoria.	93
8.1.4 Efectos en la atención	93
8.1.5 Estrés.	93
8.1.6 Efectos en el embarazo	94
8.1.7 Efectos sobre los niños	94
8.2 DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL SONORO DEL EQUIPO	94
9. DISEÑO DEL HORNO CREMATORIO	96
9.1 CONVENCIONES PARA EL DISEÑO DEL HORNO	96
9.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS RESIDUOS	98
9.3 CALCULO PARA EL DISEÑO DEL HORNO DE PARILLA Y CÁMARA DE POST-COMBUSTIÓN	104
9.3.1 Calculo de moles para una base húmeda de 120 Kg de residuos	104
9.3.2 Calculo del caudal de aire teóricamente necesario para la Combustión en la cámara primaria	105

9.3.3	Balance de masa de la cámara primaria.	107
9.3.4	Calculo de la temperatura adiabática de combustión.	108
9.3.5	Calculo de la temperatura real de llama.	111
9.3.6	Dimensionamiento de la cámara primaria	112
9.3.7	Selección del ventilador de la cámara primaria.	113
9.3.8	Calculo de las moles de CH <sub>4</sub> necesarias para la Cámara de post- combustión	116
9.3.9	Calculo del volumen de aire necesario para la cámara de post – combustión.	119
9.3.10	Calculo del volumen de gas natural para la combustión en la cámara de post-combustión	120
9.3.11	Dimensionamiento de la cámara de post-combustión.	121
9.3.12	Diseño del ciclón.	125
9.3.13	Selección del ventilador.	128
9.4	SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	130
9.4.1	Propiedades de mezcla de gases.	130
9.4.2	Diseño del intercambiador de calor (tubo y coraza).	134
9.5	CALCULO DE LA CHIMENEA	146
10.	EVALUACIÓN ECONOMICA	149
10.1	EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	149
10.1.1	Costos Alternativa 1	150
10.1.2	Costos Alternativa 2	151
10.1.3	Inversión Inicial	151

10.1.4 Selección de la mejor alternativa	152
11. CONCLUSIONES	154
12. RECOMENDACIONES	155
BIBLIOGRAFIA	156
ANEXOS	157

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Categorías de residuos.	5
Tabla 2. Clasificación de Residuos.	8
Tabla 3. Comparaciones de los tipos de hornos	35
Tabla 4. Planta de personal	56
Tabla 5. Medicos especializados adjuntos	56
Tabla 6. Cuantificación diaria de los desechos en la clínica San Jorge	73
Tabla 7. Costo de terreno	89
Tabla 8. Distribución en peso húmedo del volumen diario generado en La clínica	100
Tabla 9. Datos típicos sobre el análisis elemental del material combustible presente en los residuos	100
Tabla 10. Datos típicos del contenido de humedad en los residuos	102
Tabla 11. Datos típicos del contenido energético de los residuos	103

elementos que componen los residuos	104	Tabla 12. Distribución porcentual de	
Tabla 13. Distribución porcentual de los elementos en base seca y húmeda	104		
Tabla 14. Calculo de moles	105		
Tabla 15. Calculo del contenido energético	109		
Tabla 16. Calculo de constantes para la ecuación de capacidad calorífica para los productos gaseosos	109		
Tabla 17. Calculo de capacidad calorífica promedio y temperatura adiabática de llama	110		
Tabla 18. Calculo de capacidad calorífica y temperatura real de llama	111		

Tabla 19. Calculo de constante para la capacidad calorífica

116

Tabla 20. Calculo de la capacidad calorífica para los gases de la

combustión del gas natural

118

Tabla 21. Propiedades individuales de los gases

132

Tabla 22. Calculo de viscosidad y conductividad térmica para mezcla

de gases

133

Tabla 23. Análisis de alternativas

151

**LISTA DE FIGURAS**

Pág.

Figura 1. Horno de parillas

31

Figura 2. Horno rotatorio

32

Figura 3. Lecho fluidizado

34

Figura 4. Precipitador electroestático

40

Figura 5. Filtro de manga

41

Figura 6. Ciclón

43

Figura 7. Diagrama de flujo de un sistema de depuración húmeda para el control de gases ácidos y  $\text{SO}_2$

46

Figura 8. Diagrama de flujo de una secadora de rocío para separación de Gases ácidos y  $\text{SO}_2$

48

seca para gases ácidos y  $\text{SO}_2$  49

Figura 9. Sistema de depuradora

Figura 10. Esquema de balance de masa en la cámara primaria

107

Figura 11. Esquema cámara de post-combustión

124

Figura 12. Dimensiones del ciclón

127

Figura 13. Intercambiador de tubo y coraza

143

## LISTA DE ANEXOS

**Anexo A.** Resultado de ensayo de análisis elemental, humedad residual, densidad y tiempo de residencia

**Anexo B.** Tablas y figuras para diseño de intercambiador de tubo y coraza

**Anexo C.** Normatividad sobre Medio Ambiente

**Anexo D.** Análisis de Precio unitario

## INTRODUCCIÓN

Los residuos y desechos que la humanidad produce en las diferentes actividades, constituyen un problema global que produciendo cambios en la forma de pensar de la gente. Actualmente es una obligación para cualquier labor y profesión tener en cuenta todas las normas y leyes que velan por el mantenimiento y protección del medio ambiente.

En el desarrollo de una sociedad tecnológica, el aumento de la población y la disminución de los terrenos disponibles para la asimilación de los residuos, son alguno de los factores que con llevan a que entidades gubernamentales, agencias encargadas de la conservación del medio ambiente y centros académicos y de investigación, aumenten sus esfuerzos en mejorar y crear nuevos sistemas de tratamiento delos residuos.

Una concepción completa del problema solo puede desembocar en una estrategia que premie las acciones preventivas frente a las correctivas. La gestión de los residuos debe basarse en los principios de evitar su generación y reciclar, reutilizando la mayor cantidad posible de residuos.

Cuando estos procesos no son viables como en el caso de los residuos hospitalarios, ya que por su condición de servicio deben ser destruidos, se

hace prioritario a corto y a mediano plazo, el avance en la búsqueda de procesos de eliminación de estos desechos peligrosos.

La mayoría de las actividades que se realizan en , instituciones prestadoras de salud, generan desechos gaseosos, líquidos y sólidos.

Los residuos gaseosos provienen fundamentalmente de la combustión de derivados del petróleo, utilizados para el funcionamiento de calderas para la producción de vapor; en la operación del incinerador para la combustión de los residuos o en el funcionamiento de las estufas para la cocción de los alimentos. Los volúmenes de dichas emisiones atmosféricas no representan riesgos para la salud de las personas, ni deterioro del ambiente, si los equipos cumplen con las especificaciones técnicas de ubicación, operación y mantenimiento.

Las aguas residuales, especialmente los provenientes de algunos servicios, como laboratorio clínico y urología, podrían representar algún tipo de riesgo en razón de la posible concentración de microorganismos que puedan tener. Sin embargo estos volúmenes son relativamente bajos y además las practicas de desinfección y lavado del material contaminado, reducen en forma notoria los microbios.

Los residuos sólidos plantean dificultades para su manejo. La magnitud de este problema se debe entre otros factores a la heterogeneidad de los mismos, a su naturaleza intrínseca, composición, contenido de humedad,

capacidad de absorción, procedimientos en los cuales han sido utilizados y al incremento del uso de material desechable como medida de seguridad.

Los desechos hospitalarios deben ser controlados mediante un proceso que no presente riesgo al personal que los manipula ni a la comunidad, pues los subproductos que se generan de las actividades realizadas tienen como riesgo, la infección de todas las personas que tengan contacto con ellos.

## RESUMEN

La finalidad de este proyecto es resolver los problemas del manejo, tratamiento y disposición final de los residuos hospitalarios en las Clinica SAN JORGE en la ciudad de Maicao, ya que estos son la fuente principal de virus e infecciones que afectan la salud de las personas que tienen algún contacto con estos, como son, aseadoras, operarios, transportadores, recicladores.

Dadas esta situación se vio en la necesidad de diseñar un sistema de incineración, un horno cuyas especificaciones son las siguientes:

Capacidad: 60 Kg / hr

Cámaras de combustión y post-combustión

Quemadores de 4000000 BTU y 700000 BTU respectivamente

Sistema de filtración: Ciclón.

Chimenea: que sobrepase la edificación mas alta del sector.

También se diseño un intercambiador de tubo y coraza con el fin aprovechar la energía térmica presente en los gases de chimenea.

Este incinerador aportara a la Clínica SAN JORGE un sistema de eliminación de los residuos hospitalario, eficaz y seguro. También le evitará a la clínica sanciones económicas por el manejo inadecuado de este tipo de residuos.

## 1. LOS RESIDUOS

Al iniciar el proceso de estudio sobre la situación de los desechos biológicos, es necesario establecer y aclarar los conceptos que se van a tratar. La definición más exacta que podemos encontrar para “residuos” se puede hallar en el marco económico. La Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) los define como “aquellos materiales generados en las actividades de producción, transformación y consumo que no han alcanzado en el contexto en que son generados ningún valor comercial”<sup>1</sup>. La carencia de dicho valor puede ser debida tanto a la imposibilidad de ser reutilizado de nuevo, por no existir la tecnología adecuada de recuperación, como por no ser posible la comercialización de los productos recuperados y/o en ellos contenidos.

Según la Comunidad Económica Europea (CEE), en su directiva 75/442, especifica que se entenderá por “residuos” cualquier sustancia u objeto perteneciente a cualquiera de las categorías que se expresan en la tabla 1”

Una indicación de cómo y donde se generan los residuos sólidos, escombros, se generan al principio del proceso en la consecución de la materia prima para procesar. De allí en adelante, los residuos se generan en cada paso del proceso mientras las materias primas son convertidas en bienes para el

**Tabla 1. Categorías de residuos.**

<b>CLASE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Q <sub>1</sub>	Residuos de producción o de consumo
Q <sub>2</sub>	Productos que no corresponden a las normas
Q <sub>3</sub>	Productos caducados
Q <sub>4</sub>	Materiales que se hayan vertido por accidente, que se hayan perdido o sufrido cualquier otro accidente, con inclusión de material.
Q <sub>5</sub>	Materias contaminadas o sucias a causa de actividades voluntarias, tales como residuos de operaciones de limpieza, contenedores, etc.
Q <sub>6</sub>	Elementos inutilizables como baterías fuera de uso, catalizadores gastados, partes mecánicas y eléctricas.
Q <sub>7</sub>	Sustancias que hayan pasado a ser inutilizables, como ácidos contaminados, disolventes, sales de temple.
Q <sub>8</sub>	Residuos de procesos industriales
Q <sub>9</sub>	Residuos de procesos de anticontaminación, barras de lavado de gas, polvo de filtrar d aire, filtros gastados.
Q <sub>10</sub>	Residuos de mecanización y/o acabado.
Q <sub>11</sub>	Residuos de extracción y preparación de materias primas
Q <sub>12</sub>	Materia contaminada
Q <sub>13</sub>	Toda materia o sustancia de uso prohibido por la ley
Q <sub>14</sub>	Productos que no tengan utilidad para el poseedor
Q <sub>15</sub>	Materia, sustancia o productos contaminados procedentes de actividades de descontaminación.
Q <sub>16</sub>	Toda sustancia que no este incluida en las anteriores

consumo. Gracias a estos procedimientos, al incremento del uso de plástico y el consumo de comidas congeladas, al aumento de productos que comercialmente implican una vida útil mas corta, etc, se crea la necesidad de controlar y manejar los desechos surgiendo así la gestión de residuos sólidos. Esta puede ser definida como la disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recolección, transferencia, transporte, procesamiento y evaluación de residuos sólidos de una forma que armoniza con los mejores principios de salud pública, de economía, de ingeniería, de conservación, de la estética, y de otras consideraciones ambientales que también responden a las expectativas públicas.

## **1.1 CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS**

La clasificación de los residuos se hace sobre la base de diferentes criterios, tales como el sector productivo, composición, posibles tratamientos, entre otros. Un gestor de residuos de su mayor importancia a la naturaleza y composición química de los residuos en relación con las operaciones a las que vaya a someter, mientras que un productor centrará su interés en conocer las posibilidades de tratamiento y revalorización que se pueden contemplar para su sector de actividad.

La clasificación de los residuos se puede simplificar en la tabla 2, en donde se tuvo en cuenta la actividad comercial y el tipo de desecho que cada cual produce.

**Tabla 2. Clasificación de Residuos.**

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	DOMICILIARIOS
	VOLUMINOSOS
	COMERCIALES
	SANITARIOS
	DE CONSTRUCCION
	ASIMILABLES A URBANOS
INDUSTRIALES	INERTES
	ASIMILABLES A URBANOS
	RESIDUOS TOXICOS Y PELIGROSOS
HOSPITALARIOS	
DE ACTIVIDADES MINERAS	
FORESTALES	
AGRÍCOLAS	
GANADEROS	
RADIOACTIVOS	

**1.1.1 Residuos sólidos urbanos (rsu):** Son los generados por cualquier actividad en los núcleos de población o en sus zonas de influencia. Consiste en residuos orgánicos(combustibles), e inorgánicos(incombustibles), de zonas residenciales y establecimientos comerciales. Típicamente la fracción orgánica de los RSU esta formada por materiales como residuos de comida, papel de todo tipo, cartón, plástico de todos tipos, textiles, gomas, cuero, madera, y residuos de jardín; la fracción inorgánica esta formada por artículos como vidrio, cerámica, latas, aluminio, metales féreos y suciedad.

**Generalmente a este tipo de residuos corresponden los “putrefactibles” o 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.**

**1.1.2 Residuos industriales:** Son los materiales resultantes de un proceso de fabricación, de transformación, de utilización, consumo o limpieza, cuyo productor o poseedor los destine al abandono.

**1.1.2.1 Residuos inertes:** Todos aquellos desechos que no necesitan de un tratamiento previo a su deposición en el vertedero controlado. Estos no implican riesgos en el medio ambiente, y pueden ser utilizados como material de relleno en movimiento de tierras. A este grupo pertenecen escorias, escombros, fangos digeridos o desecados, arcillas y arenas entre otros.

**1.1.2.2 Residuos asimilables a urbanos:** Son generados fuera del ámbito urbano en actividades paralelas a la industria tales como oficinas, limpieza, sanitario, comedores, entre otros. Tienen características similares a urbanos.

**1.1.2.3 Residuos tóxicos y peligrosos(RTP):** Son los materiales sólidos, pastosos, líquidos y gaseosos contenidos en recipientes que sean destinado al abandono y contengan en su composición alguna de las sustancias consideradas como peligrosas por las entidades ambientales.

**1.1.3 Residuos hospitalarios:** Son todos los desechos que provienen como consecuencia de la actividad hospitalaria. Anteriormente se tenían clasificado dentro de los urbanos, pero debido la gran cantidad de materiales especiales que estos contienen fue necesario diferenciarlos en otro grupo, pues se estaban ocasionando faltas en el proceso de tratamiento.

Es necesario conocer muy bien los residuos hospitalarios con el fin de diferenciar correctamente los que pueden ser similares a los urbanos, y los que son definitivamente peligrosos, puesto que cada grupo implica una gestión muy concreta.

**1.1.4 Residuos mineros:** Son todos los materiales no aprovechables que se forman de las extracciones mineras. Su volumen es elevado y el grado de toxicidad y peligrosidad depende del tipo de material extraído.

**1.1.5 Residuos forestales:** Son aquellos restos de maderas procedentes de podos y entresaca que pueden ocasionar incendios y plagas.

**1.1.6 Residuos agrícolas:** Estos tipos de residuos son generalmente provechosos para la misma tierra, mejorando sus propiedades agronómicas. Sin embargo hay un grupo de este tipo que no es aprovechable como por ejemplo, los residuos del cultivo del cereal(producen residuos fibrosos), los residuos de los cultivos industriales(como fibras textiles) y residuos de cultivos forestales y de viñedos que originan desechos con elevado poder calorífico en grandes cantidades que pueden ser problemáticos.

**1.1.7 Residuos ganaderos:** Su utilización preferente es como abono para explotaciones agrícolas.

**1.1.8 Residuos radioactivos:** Se considera radioactivo cualquier material que contiene o está contaminado con radionuclidos en concentraciones superiores a las establecidas por las autoridades correspondientes. La manipulación y control de este tipo de residuos debe ejercerla obligatoriamente alguna entidad gubernamental.

## **1.2 CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS HOSPITALARIOS**

La clasificación de los RSH es el primer paso hacia una gestión segura, efectiva y económica. El principal requisito de una buena clasificación es no dejar lugar a dudas ni a interpretaciones contradictorias. A partir de una absoluta claridad sobre lo que son los residuos peligrosos para la salud, se pueden poner en práctica procedimientos de manejo y de tratamiento seguros para los trabajadores y el medio ambiente.

A partir de la clasificación se generan todas las operaciones de manejo, desde la separación, hasta el tipo de tratamiento que cada clase de residuo requiere.

La clasificación de los RSH utilizada en la presente investigación está basada en los criterios adoptados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), aplicar un criterio único para este tipo de desechos, permite simplificar el

manejo de los RSH y evita un gran número de subdivisiones que implicarían una organización más compleja y, por consiguiente, gastos mayores. A continuación se expone la clasificación utilizada para agrupar los residuos hospitalarios.

**1.2.1 Residuos bioinfecciosos.** Los residuos bioinfecciosos son generados durante las diferentes etapas de la atención de salud y representan diferentes niveles de peligro potencial, de acuerdo con su grado de exposición ante los agentes infecciosos. Se dividen en:

#### 1.2.1.1 Infecciosos

- **Materiales provenientes de salas de aislamiento.**

Residuos biológicos, excreciones, exudados o materiales de desechos provenientes de salas de aislamiento de pacientes con enfermedades altamente transmisibles. Se incluye a los animales aislados, así como también a cualquier tipo de material que haya estado en contacto con los pacientes de estas salas.

- **Materiales biológicos.**

Cultivos, muestras almacenadas de agentes infecciosos, medios de cultivo, placas de Petri, instrumentos usados para manipular, mezclar o inocular microorganismos, vacunas vencidas o inutilizadas, filtros de áreas altamente contaminadas.

- Sangre humana y productos derivados

Sangre de pacientes; bolsas de sangre inutilizadas, con plazo de utilización vencida o serología positiva; muestras de sangre para análisis; suero; plasma y otros subproductos. También se incluyen los materiales empapados o saturados con sangre, plasma, suero y otros, aunque se hayan secado, así como los recipientes que los contienen o que se contaminaron, como bolsas plásticas, catéteres intravenosos, etc.

#### 1.2.1.2 Patológicos:

- Residuos anatómicos, patológicos y quirúrgicos.

Desechos patológicos humanos, incluyendo tejidos, órganos, partes y fluidos corporales, que se remueven durante las autopsias, la cirugía u otros, incluyendo las muestras para análisis.

- Residuos de animales.

Cadáveres o partes de animales infectados provenientes de los laboratorios de investigación médica o veterinaria, así como sus camas de paja u otro material.

**1.2.1.3 Punzocortantes.** Elementos punzocortantes que estuvieron en contacto con fluidos corporales o agentes infecciosos, incluyendo agujas hipodérmicas, jeringas, pipetas de Pasteur, agujas, bisturís, mangueras, placas

de cultivos, cristalería entera o rota, etc. También se considera cualquier punzocortante desechado, aun cuando no haya sido usado.

**1.2.2 Residuos comunes.** Son desechos comunes los generados principalmente por las actividades administrativas, auxiliares y generales, que no corresponden a ninguna de las categorías de desechos peligrosos. Son similares a los desechos de producción doméstica e implican las mismas prácticas de higiene en su manejo y transporte.

Se incluyen en esta categoría los papeles, cartones, cajas, plásticos, restos de alimentos y los materiales de la limpieza de patios y jardines, entre otros, como se especifica a continuación:

- Comida: Todo lo que procede de las cocinas y los residuos alimenticios, con exclusión de los que hayan entrado en contacto con pacientes internados en salas de aislamiento.
- Papelería: Desechos procedentes de las oficinas administrativas, talleres, embalajes de papel y/o cartón.
- Envases y otros: Contenedores de vidrio o plásticos para fármacos no peligrosos y alimentos, materiales metálicos o de madera, yesos, que no hayan sido contaminados.

A partir de la anterior clasificación se optó por un código de colores para la recolección de los residuos que simplifica las normas internacionales, emanadas de la OMS. Los colores se asignaron de acuerdo al tipo y grado de peligrosidad del residuo. Los colores utilizados en las bolsas de recolección son los siguientes

- Rojo: residuos bioinfecciosos (infecciosos y patológicos) .
- Negro: residuos comunes.
- Blanco: residuos reciclables o recuperables.

De estos tres grupos, los únicos residuos que se analizarán son los bioinfecciosos, ya que el proyecto está enfocado a darle solución al tratamiento de estos por su alta peligrosidad, los residuos comunes tienen un tratamiento igual a los domésticos, es decir, son recolectados y tratados por la empresa encargada de la recolección de basuras de la localidad.

## 2. TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS HOSPITALARIOS

La finalidad de cualquier sistema de tratamiento es eliminar las características de peligrosidad de los residuos sólidos hospitalarios para que, después del tratamiento no representen mas riesgos para la salud publica que los desechos comunes.

Cualquier sistema de tratamiento para los residuos sólidos hospitalarios tiene que cumplir con los requisitos básicos siguientes:

- Asegurar la destrucción total y completa de todos los gérmenes patógenos presentes, incluyendo los que se encuentran al interior de jeringas, catéteres, gasas, guantes, entre otros.
- No ocasionar problemas al medio ambiente con emisiones gaseosas, descargas liquidas y sólidas.
- Ser de segura y comprobada tecnología, así como también de practico funcionamiento y mantenimiento.

Además son factores deseables:

- Permitir una reducción del volumen de los desechos tratados.
- Lograr que las partes anatómicas o semejantes como por ejemplo las placentas, sean eliminadas sin ocasionar problemas estéticos y/o religiosos.

Es importante también que mediante el tratamiento se logre una transformación irreversible de los diferentes objetos con el fin de evitar la reutilización clandestina de los artículos que puedan tener valor comercial. Es

importante también que mediante el tratamiento se logre una transformación irreversible de los diferentes objetos con el fin de evitar la reutilización clandestina de los artículos que puedan tener valor comercial.

Las alternativas disponibles para el tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios están también vinculadas al tamaño de la instalación de salud y la localidad donde se ubica.

## **2.1 TIPOS DE TRATAMIENTOS**

**2.1.1 Autoclave:** Consiste en someter los residuos bioinfecciosos a un tratamiento térmico, bajo ciertas condiciones de presión, en una cámara sellada.

Para que la desinfección sea completa, el vapor tiene que penetrar en cada parte de los desechos y mantener la temperatura alrededor de los 160 °C por un mínimo de 12 a 15 minutos.

Se encuentran disponibles autoclaves de diferentes tamaños que pueden ser seleccionados de acuerdo con la cantidad de desechos producidos por el hospital o el grupo de hospitales.

Los desechos infecciosos de baja densidad, tales como muchos materiales plásticos, son más adecuados para la esterilización a vapor. Los desechos de alta densidad, tales como partes grandes de cuerpos y cantidades

grandes de material animal o de fluidos, dificultan la penetración del vapor y requieren un tiempo más largo de esterilización. En el caso de que se genere una gran cantidad de desechos de alta densidad, deberían considerarse métodos de tratamiento alternativos como, por ejemplo, la incineración o el uso previo de trituradores.

A continuación se muestran algunas ventajas y desventajas de la autoclave.

- Ventajas
  - Alto grado de efectividad.
  - Es un equipo simple de operar.
  - Es un equipo conceptualmente similar a otros normalmente utilizados en Instalaciones de Salud (autoclaves para esterilización).
  
- Desventajas
  - No reduce el volumen de los desechos tratados.
  - Puede producir malos olores y generar aerosoles.
  - Es necesario utilizar recipientes y/o bolsas termo resistentes, que tienen costos relativamente elevados.
  - No es conveniente para residuos patológicos, porque siguen siendo reconocibles después del tratamiento.

- Los aparatos de vapores son escasamente utilizados en países tropicales, de tal manera que no hay familiaridad con los riesgos que implican.

**2.1.2 Tratamiento con microondas:** Consiste en someter los desechos bioinfecciosos, previamente triturados y rociados con vapor, a vibraciones electromagnéticas de alta frecuencia, hasta alcanzar y mantener una temperatura de 95 a 100 °C por el tiempo necesario.

Estas vibraciones electromagnéticas producen como resultado el movimiento a gran velocidad de las moléculas de agua presentes en los desechos. La fricción que se origina entre ellas genera un intenso calor. El proceso no es apropiado para grandes cantidades de RSH/P (más de 800 a 1.000 kg diarios) y tampoco para desechos patológicos. Existe también el riesgo de emisiones de aerosoles que pueden contener productos orgánicos peligrosos.

Los sistemas de desinfección por microondas son muy utilizados para el tratamiento local de los desechos de laboratorios y son constituidos por hornos pequeños, cuyo principio de funcionamiento es el mismo de los hornos de microondas de uso doméstico.

Nunca hay que poner objetos metálicos en estos hornos, ya que las microondas, al rebotar en el metal, generan descargas eléctricas entre éstos y las paredes del horno. Por consiguiente, los punzocortantes en ningún caso deben tratarse con este sistema.

Estas son algunas ventajas y desventajas del tratamiento de residuos por microondas.

- Ventajas
  - Alto grado de efectividad.
  
- Desventajas
  - Costo de instalación superior al del autoclave.
  - No es apropiado para tratar más de 800 a 1.000 kg diarios de desechos.
  - Riesgos de emisiones de aerosoles que pueden contener productos orgánicos peligrosos.
  - Requiere personal especializado y estrictas normas de seguridad.

**2.1.3 Incineración:** es un proceso de combustión controlada que transforma la fracción combustible de los residuos en productos gaseosos y sólidos inertes (cenizas) de menor peso y volumen que el residuo original. El combustible es el propio residuo y el carburante el oxígeno presente en el aire. Existe una relación entre el aire real introducido y el aire teóricamente necesario; llamado coeficiente de exceso de aire, lo cual es de gran importancia pues es lo que controla la liberación de calor que tiene lugar en la combustión. Las reducciones de peso y volumen dependen directamente del contenido en materiales combustibles en inertes; en promedio se tiene una reducción de peso del 70% y de volumen entre el 80% y 95 %.

El sistema de eliminación no es completo, ya que genera un producto residual que son las cenizas, y los afluentes gaseosos. La energía térmica liberada puede ser recuperada y utilizada en usos convencionales (vapor, calefacción, entre otros)

- Ventajas
  - Destruye cualquier material que contiene carbón orgánico, incluyendo los bioinfecciosos.

- Produce una reducción importante el volumen de los desechos.(80%-95%).
- Los restos son irreconocibles y definitivamente no reciclables.
- Bajo ciertas condiciones, permite el tratamiento de residuos químicos y farmacéuticos.
- Permite el tratamiento de residuos bioinfecciosos.
- Es ideal para grandes volúmenes de residuos.
- Desventajas
  - Cuesta 2 ó 3 veces más que cualquier otro sistema.
  - Supone un elevado costo de funcionamiento por el consumo de combustible (sobre todo si se cargan RSH con alto contenido de humedad).
  - Necesita operadores bien capacitados.
  - Conlleva el riesgo de posibles emisiones de sustancias tóxicas a la atmósfera.



### 3. PROCESO DE INCINERACIÓN

La incineración es hoy por hoy, el único método o sistema de tratamiento de residuos que nos ofrece la más grande reducción de peso y volumen.

La incineración no es exactamente una combustión. De hecho es un proceso muy complejo donde, evidentemente, la combustión juega un papel esencial.

Los sólidos, aunque su poder calorífico sea importante, no reaccionan con el oxígeno del aire como es obvio. Hay que someterlos a determinado nivel de temperatura para que se inicie una serie de reacciones químicas y físicas. Para comprender el fenómeno de la incineración es necesario tener en cuenta, a la vez, las operaciones de transferencia de masa y transmisión de calor tanto en la fase sólida como en la gaseosa y entre ambas.

El calor desarrollado en la combustión, o bien en el quemador inicial cuando se inicia la operación, es transferido al resto de residuo lo que provoca:

- Evaporización del agua residual
- Calentamiento del sólido o líquido
- Vaporización de compuestos

- Gasificación de materia orgánica
- Pirólisis de otra fracción de la materia orgánica
- Combustión total o parcial de otra fracción de la materia orgánica

El hecho que se desarrolle mas o menos una de estas fases depende del tipo de horno y de la forma en que se lleve a cabo la primera etapa de calentamiento.

El calentamiento tiene lugar en el horno. Los factores que propician un mayor o menor calentamiento, con independencia claro esta de la caracterización del propio residuo, intensidad de las etapas antes enumeradas es:

- Tipo de horno. De parrilla, rotatorio, lecho fluidizado, etc.
- Forma de la transferencia de calor hacia el residuo.
- Exceso de aire en el proceso

En el proceso de incineración se pueden distinguir dos etapas:

La primera etapa, hasta los 300°C, corresponde a la eliminación de agua y al comienzo de la fase de volatilización. En esta etapa, los compuestos más volátiles o cuyo punto de ebullición sea inferior a 300°C se desprenden en forma de gas. A partir de estas de temperatura, 300°C, comienzan las reacciones de combustión.

La siguiente etapa abarca desde los 300 hasta los 850°C y es considerada la zona fundamental. Corresponde a la oxidación de la materia orgánica con la consiguiente conformación de vapor de agua, CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>. En esta etapa, es cuando hay mayor peligro de contaminación medioambiental debido a la volatilización de los metales.

Para asegurar la destrucción de las moléculas orgánicas complejas, que pueden salir con los gases de combustión, se someten estos gases a un proceso adicional o de post combustión en el cual la temperatura esta

alrededor de  $1200^{\circ}\text{C}$  durante un tiempo no inferior a dos segundos y con un contenido de oxígeno superior al 6%.

### 3.1 PROCESO DE COMBUSTIÓN

La combustión se define como una oxidación rápida de la materia combustible con desprendimiento de calor. Así pues se precisa, en primera instancia, que el residuo a oxidar tenga, al menos, uno de los tres únicos elementos susceptibles de combinarse con el oxígeno con liberación de calor: C(carbono), H ( hidrogeno), S (azufre).

Los combustibles sólidos y líquidos deben pasar por una fase previa de gasificación para que se desprendan los volátiles. Las reacciones de combustión siempre tienen lugar en fase gaseosa (reacciones Homogéneas). Existen reacciones heterogéneas(sólido-gas) que tiene una cinética mas complicada y, desde el punto de vista ambiental, son mucho más conflictivas.

Otro factor indispensable es la mezcla íntima y adecuada al combustible y el comburente que suele ser aire.

Seguidamente, cuando la mezcla es la correcta se debe producir la ignición. A partir de este momento el calor generado permite tener un nivel de temperatura que asegura la continuidad de la reacción.

En la combustión de un sólido se desarrollan una serie de complejas reacciones químicas, llevadas a cabo mediante radicales libres. Para la descripción completa del mecanismo es necesario tener en cuenta, las operaciones de transferencia de materia y transmisión de calor que ocurren en la fase sólida como en la gaseosa y entre ambas.

En el caso que nos ocupa el combustible siempre es un residuo, una mezcla de gran diversidad de componentes o bien composiciones químicas complejas.

El calor desprendido en la combustión de un sólido es absorbido por el resto del combustible existente, aprovechándose una parte para vaporizar el agua

existente como humedad y por otra para calentar el seno del sólido hasta iniciar su fase de volatilización.

En la fase de volatilización depende de la composición del sólido, la temperatura y de la cantidad de oxígeno disponible, puede llevarse a cabo de dos formas distintas:

- Pirólisis. Se produce cuando existe ausencia de oxígeno aunque este sea puntual. Se inicia a una temperatura entre 250 y 350°C el resultado es la formación de gases como CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, y un sin fin de hidrocarburos.
- Fusión y Ebullición o bien sublimación. El cambio gradual o no de estado hasta la fase gaseosa.

La combustión de los residuos debe generar la energía térmica suficiente como para que el proceso continúe sin necesitar aportaciones importantes de un combustible adicional. Puede aplicarse a residuos sólidos, líquidos o gaseosos.

Los factores más importantes para el buen diseño y funcionamiento de un incinerador son la temperatura de combustión, el tiempo de permanencia de gas de combustión y la eficacia de la mezcla del residuo con aire de combustión y combustible de apoyo. Estos parámetros varían según la estructura química y forma física del residuo y el tipo de técnica de incineración empleada.

## 3.2 SISTEMAS DE INCINERACION

Los sistemas de incineración están compuestos básicamente por: cámara primaria, cámara secundaria, depurador de gases, chimenea, cámara de cenizas, pero difieren en el diseño en aspectos como: tipo de residuo, régimen de funcionamiento, capacidad, entre otros. Por ello es preciso describir a los tipos de hornos más utilizados para la destrucción térmica de residuos orgánicos.

**3.2.1 Hornos de parrillas:** Son los más conocidos y extendidos debido a su empleo en el tratamiento de los residuos sólidos, por su versatilidad y capacidad de tratamiento. Este tipo de horno se divide en dos, horno de parrilla fija y horno de parrilla móvil.

La carga, residuo, se introduce en la parrilla por gravedad o por medio de un cilindro neumático o hidráulico, esto depende de la cantidad de residuo. Por lo general se introduce “todo uno”, es decir sin triturar lo que favorece la presencia de acumulaciones de materia que impiden la libre transmisión de calor por radiación.

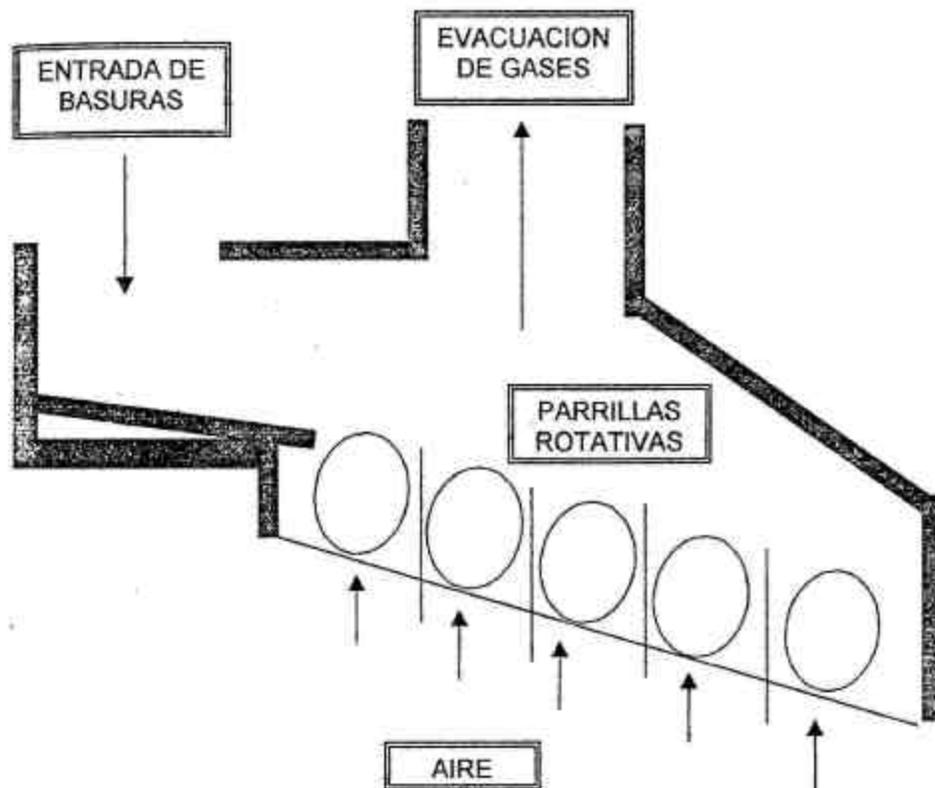
El movimiento de la carga para el caso de parrillas fijas se logra por efecto de la gravedad( planos inclinados) y en el caso de perrillas móviles se utilizan diversos mecanismos que obligan a la carga a desplazarse, como los rodillos, bandas transportadoras, entre otros.

Según el modo de accionamiento de las parrillas la introducción del aire, que inyectada por la parte inferior es diferente. En este tipo de horno funciona con un exceso de aire superior al 100%.

En el caso de las parrillas móviles encontramos tres tipos de secciones diferentes. La primera de secado, la segunda de combustión activa y la tercera de combustión complementaria y descarga de escorias.

Si bien la ventaja de los hornos de parrillas es que admiten todo tipo de carga sin tratamiento previo y la inversión es relativamente baja, los inconvenientes, para la incineración son:

- Las parrillas propician la aparición de restos carbonosos (coque y compuestos orgánicos no quemados) en las escorias.
- Las parrillas móviles pueden ocasionar problemas mecánicos o bien necesitar un frecuente mantenimiento.

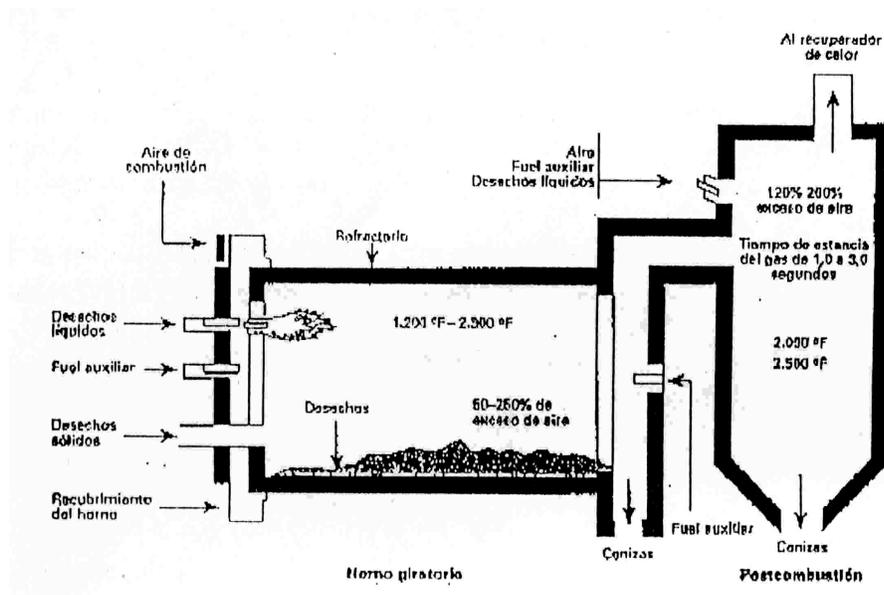


**Figura 1. Horno de parrillas**

**3.2.2 Hornos rotatorios:** Este tipo de horno es muy versátil y es apto para trabajar con materiales sólidos, fangosos e incluso líquidos. El horno está constituido por un recipiente de acero recubierto interiormente con una capa de refractario y aislante, colocado con una pequeña inclinación de  $5^\circ$  y montados sobre rodillos. La rotación de estos permite el movimiento de los desechos y a su vez, el paso de aire de combustión, creando turbulencia. El

tiempo de retención puede variar según la velocidad de rotación. El residuo no ocupa mas del 20% del volumen del cilindro.

Entre sus ventajas se encuentra, versatilidad en cuanto a los residuos que se puedan tratar, proporciona buenas condiciones de turbulencia a la mezcla residuo-aire, la ceniza se recupera en continua, trabaja con un exceso de aire reducido, para compuestos volátiles es posible ajustar el tiempo de retención. El principal problema que se puede presentar es que los residuos de forma esférica o cilíndrica pueden rodar en su interior sin sufrir una combustión completa.



**Figura 2. Horno rotatorio**

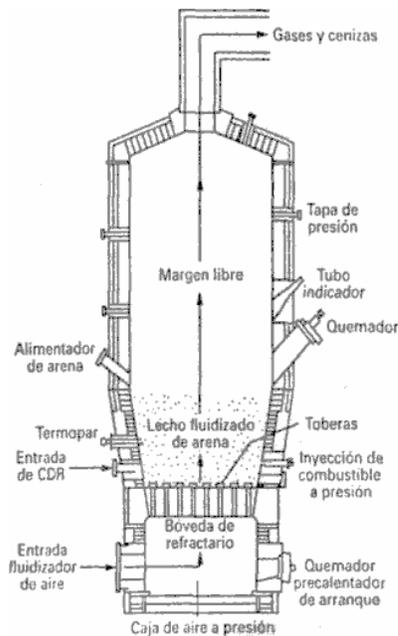
**3.2.3 Horno de lecho fluidizado:** Consiste en un material inerte, como sílice o arena, dispuesto sobre un plato de distribución, a través de cuyos orificios es insuflado el aire de combustión en sentido ascendente. A una determinada velocidad de ascensión del aire (1.5 a 2 m /sg) el lecho inerte adquiere características propias de un fluido (régimen de burbujeo). En este momento el lecho se expande proporcionando unas condiciones óptimas de superficie específica y homogeneidad térmica. Esta propiedad supone que los residuos puedan ser destruidos a una temperatura inferior a la de otros tipos de hornos.

La parte existente entre el lecho y la bóveda del reactor actúa como una cámara de postcombustión. En esta zona la temperatura es superior, mientras la temperatura del lecho permanece sensiblemente constante.

Desde el punto de vista técnico las ventajas que aporta el lecho fluidizado es comparación con el convencional puede sintetizarse en:

- Requiere un menor exceso de aire con lo que el rendimiento de la combustión será mayor.
- No hay partes móviles en el sistema, con lo que el mantenimiento es mucho más reducido.
- Al trabajar a menores temperaturas, la generación de NOX es mas limitada, casi nula.
- Gracias a la gran inercia térmica de lecho admite grandes fluctuaciones en el caudal de residuos o en su poder calorífico.

Como desventaja más sobresaliente hay que citar el mayor costos de instalación y el cuidado con la naturaleza de los residuos para evitar que se formen eutecticos que puedan fundir o colapsar el lecho.



**Figura 3. Lecho fluidizado**

**3.2.4 Hornos para líquidos:** Son reactores cilíndricos, en disposición vertical u

Horizontal con revestimiento de material refractario en su interior y equipados con uno o más quemadores. Por lo general uno es el quemador, mas bien inyector y atomizador del residuo liquido mientras que el otro es el quemador de combustible convencional.

Alcanzan temperaturas entre 700 y 1000°C, intervalos de temperaturas dentro de las cuales la mayoría de los líquidos combustionan correctamente.

El principal problema estriba en el diseño de la boquilla atomizadora del combustible liquido. La cámara se ha de diseñar para que durante la trayectoria que siguen las gotas de liquido, estas volatilicen y se oxiden en fase gaseosa.

Las principales ventajas son su bajo coste de explotación, por no tener partes móviles. El principal inconveniente radica en la propensión a embozarse de las boquillas atomizadoras.

El cuadro siguiente indica la idoneidad de los diversos tipos de hornos expuestos, de acuerdo con los residuos más próximos a los hospitalarios.

**Tabla 3. Comparaciones de los tipos de hornos**

TIPO DE RESIDUO	ROTATIVO	LIQUIDOS	L.FLUIDIZADO	PARRILLAS
Granular, Homogéneo	X		X	X
Irregular	X			X
Sólido bajo punto fusión	X	X	X	
Orgánicos con cenizas fundibles	X			X
A granel voluminoso	X			
Vapores orgánicos	X	X	X	X
Líquidos orgánicos	X	X		
Fangos Con carga halogenada	X	X		
Fangos orgánicos	X		X	

Basándonos en la cuadro anterior, se observa que el tipo de horno de mas aplicación es el rotativo, este horno es utilizado para incinerar volúmenes del orden de toneladas por día, es decir es utilizado para altas ratas de generación de residuos; Para este proyecto teniendo en cuenta que el volumen de residuo generado es relativamente pequeño se seleccionó la tecnología de parilla fija, como se observa en la tabla es idónea para residuos orgánicos con cenizas fundibles y teniendo en cuenta que no

presenta partes móviles hace menos dificultosa la construcción y el mantenimiento del mismo, todo esto se ve reflejado en el costo del equipo.

### **3.3 EL INCINERADOR**

Los incineradores modernos están equipados con una cámara primaria y otra secundaria o de post-combustión, provistas de quemadores capaces de alcanzar la combustión completa de los desechos y una amplia destrucción de las sustancias químicas nocivas y tóxicas (dioxina, furanos, etc). En la cámara de post-combustión se alcanzan temperaturas de alrededor de 1200 °C y se opera con un tiempo de permanencia de los gases de un mínimo de dos segundos, por ello la citada cámara suele estar construida por paredes en diversos tabiques de forma que los gases la atraviesen siguiendo un recorrido laberíntico. Para tratar el flujo de gases y las partículas arrastradas, antes de ser liberados a la atmósfera, se agregan torres de lavado químico, ciclones, filtros, entre otros.

Todo incinerador al final debe tener una chimenea que permita la dispersión de los gases de combustión; para el diseño de la chimenea el aspecto más exigente no es su tiro, sino la capacidad para dispersar los gases de combustión.

Los incineradores operan con máxima eficiencia cuando los desechos que se queman tienen un poder calórico suficientemente alto, es decir, cuando la combustión produce una cantidad de calor suficiente para evaporar la humedad de los desechos y mantener la temperatura de combustión sin añadir más combustible.

En general, es preferible que los incineradores operen continuamente, ya que los cambios de temperatura provocados por los paros deterioran rápidamente los revestimientos refractarios.

## **6. DISPOSICIÓN FINAL**

Actualmente la clínica San Jorge no cuenta con el sistema de incineración para los residuos hospitalarios, estos residuos se están tratando como residuos comunes. El contacto directo o indirecto de estos, genera un alto riesgo de contaminación a la población en general, ya que al exponerse a estos residuos, se corre el riesgo de adquirir enfermedades infectocontagiosas (hepatitis, A, B y C, VIH, entre otros).

Para la prevención efectiva se sugirió la construcción de un incinerador, dicha sugerencia fue acatada por la dirección de la clínica. Al tratarse correctamente los residuos en la clínica, los residuos son transformados en cenizas, las cuales representan mucho menos riesgos a la comunidad.

se proponen dos alternativas para la disposición final de estas cenizas:

1. Verterlos en el relleno sanitario, que es el tratamiento que se da normalmente a los residuos sólidos. Estos residuos (cenizas) representan menos riesgos de los residuos comunes, por lo tanto esto es una alternativa idónea para la disposición final de estos.

2. Comercialización como materia prima. La ceniza se ha utilizado en forma limitada como aditivo de concreto y como base de fertilizante. Este tipo de residuo

se emplea ampliamente en la recuperación de tierras en áreas bajas y en algunos casos como material de base en caminos.

En Colombia este tipo de comercialización no es muy común pero sin embargo representa un mercado potencial y también se puede tomar como una alternativa de ingreso para la institución.

## 7. ESTUDIO DE UBICACIÓN DEL EQUIPO

La construcción de un equipo de incineración implica cumplir con un gran número de normas legales, ambientales y técnicas de funcionamiento. Para ello, las entidades gubernamentales encargadas de autorizar o no el funcionamiento de las diferentes tipos de maquinaria industrial. En el caso específico de un equipo de incineración, se debe tener la autorización de la siguiente manera:

a. Por parte del Ministerio de Salud y de Medio Ambiente, se obtiene la licencia ambiental de funcionamiento de un equipo de incineración previa revisión y visto bueno por parte de sus funcionarios, quienes, analizan el programa de recolección, transporte, la incineración en sí, el control de emisión y tratamiento último de los desechos, donde se demuestre que con el proyecto no hay ningún tipo de peligro de contaminación.

b. La segunda entidad directamente encargada de otorgar los permisos, a escala regional, es CORPOGUAJIRA, que en forma conjunta con los Ministerios, estudia el funcionamiento del equipo, asegurando que no produzca contaminación.

c. También se debe tramitar el permiso del lugar de funcionamiento, el cual es otorgado por el Departamento Administrativo de Planeación Municipal, la cual clasifica por sectores la ciudad y su área metropolitana, especificando los sitios donde se puede operar un equipo de incineración.

d. Los documentos de funcionamiento comercial, como también la placa de industria y comercio, son otorgadas por la Cámara de Comercio de Maicao.

e. Autorización por parte del Departamento de circulación y tránsito de Maicao, para el transporte de desechos hospitalarios.

Todos estos documentos se interrelacionan entre sí, ya que la obtención de uno depende de tener el otro, pero partiendo de la autorización ambiental que se expide en CORPOGUAJIRA.

## **7.1 NORMAS GENERALES EN LA INSTALACIÓN DE UN EQUIPO DE INCINERACIÓN**

Las normas que CORPOGUAJIRA tiene como base para tomar determinaciones se extraen de las que se han dado por ley en la Comunidad Económica Europea

(CEE), donde el sistema de tratamiento de desechos tiene un alto nivel de estudio y desarrollo (Documento: "Implicación Ambiental de la Incineración de Residuos Urbanos, hospitalarios e industriales " fundación Mapfre).

**7.1.1 Area física, ubicación y condiciones ambientales.** del análisis de alternativas de los lugares escogidos para localizar el incinerador se debe describir claramente:

Que la planta se encuentre alejada de corrientes superficiales. La proximidad de superficies de agua implica, además, un riesgo de contaminación de las mismas, por deposición de los contaminantes emitidos a la atmósfera especialmente si se encuentra en la dirección predominante de dispersión y deposición.

d. Paisaje: la localización de la planta de incineración propuesta, debe orientarse a una zona de baja calidad paisajística y alta capacidad de enmascaramiento y ocultación, de forma que la presencia física de la instalación presente la menor incidencia en el paisaje natural. Además de esto, el sitio debe permitir, en lo posible minimizar las alteraciones y modificaciones del terreno.

e. Medio Biótico: La localización de la planta no debe afectar espacios naturales, ecosistemas o comunidades faunísticas o botánicas de interés.

f. Transito de vehículos y transporte de residuos peligrosos: la posibilidad de accidentes desde el lugar de origen a la planta de incineración supone un considerable riesgo. El efecto más cotidiano de aumento de tráfico puede ser el incremento de los niveles de presión sonora.

g. Uso del suelo: En estos casos es de vital importancia prevenir las afecciones sobre actividades agropecuarias que indirectamente causan efectos sobre los consumidores. Cerca al sitio propuesto no se deben localizar zonas de tradición ganadera (láctea o cárnica), cuidando que los pastizales y prados no se afecten por deposición de contaminantes.

Además de lo anterior no lleguen a contaminar cultivos de huertos, frutales y todos aquellos cultivos de consumos y gran superficie foliar expuesta.

h. Factores sociales: sin duda es el más conflictivo de los elementos que se deben considerar. La lógica indica que se debe ubicar en zonas en las que no sea previsible una expansión residencial con el largo plazo. la localización óptima, es la que minimiza las emisiones sobre las zonas pobladas que pueden oponerse a la instalación de la planta en el lugar propuesto.

i. Educación e investigación ambiental: Entre otros puntos, se contempla el desarrollo de programas de asistencia técnica y capacitación especializada; la cooperación, en el establecimiento de centros de información y enlace sobre

tecnologías más limpias y el impulso de programas de concientización y responsabilidad sobre el desarrollo humano sostenible.

## **7.2 DEFINICIONES DEL LUGAR PARA LA INSTALACIÓN DEL EQUIPO**

De acuerdo a las normas dadas por CORPOGUAJIRA, los sitios para la instalación de un equipo de incineración son los siguientes:

- Clínica San Jorge: La clínica esta autorizada (por zona) para utilizar un equipo de incineración. Aunque tiene necesidad inminente de incinerar desechos peligrosos de contaminación, por su ubicación en la zona urbana poblada y residencial, se exige un funcionamiento óptimo del incinerador.

Operaciones de control al 100% de eficiencia y 0% de emisiones de partículas sólidas y tóxicas.

- Áreas metropolitanas no habitadas algunos sectores retirados del área urbana, que no involucra vivienda.

Cabe anotar de que cualquier forma, se deben dar todas las condiciones de

funcionamiento óptimo del equipo, los mejores sistemas de control de emisión, y la responsabilidad de cuidar el medio acuífero, terrestre y ambiental sea donde sea que se ubique el incinerador.

Para facilitar la definición del sitio de ubicación, se toman dos posibilidades reales de acuerdo a la determinaciones de CORPOGUAJIRA, se podrían ejecutar: ubicar el equipo en la misma clínica, o, en un lugar del área metropolitana no habitada.

**7.2.1 ubicación en la clínica.** Las principales ventajas que se tienen de colocar el equipo en la clínica son:

- \* La clínica tiene el control directo sobre el tratamiento de los desechos (asunto que por ley, le obliga a ejercerlo), ya sea por medio de planta física o de mantenimiento, evitando así generar nuevos cargos para tal efecto
- \* Se evitaría la situación de transporte a los desechos a sitios fuera de la clínica.

Como algunas de las principales desventajas se tendrían:

- \* Parámetros de diseño sometidos a las condiciones físicas actuales tal como los controles de combustión, de emisión, volúmenes de gases a expulsar, etc.
- \* Implicación directa del proceso de incineración sobre operarios y trabajadores pertenecientes a otras dependencias.

**7.2.2 ubicación en área no habitada.** Encontrar un sector ajeno a la clínica para

realizar el tratamiento de los residuos tiene como ventajas:

- \* Se puede manejar conjunta y más fácilmente las condiciones de suelos, ruidos, olores y especialmente, los factores sociales que son los elementos mas conflictivos a considerar.
- \* permite a la clínica explotar comercialmente el servicio de incineración, abarcando otras entidades prestadoras de servicio de salud.

Por el contrario, la principal desventaja de esta opción, es que hay que establecer el mecanismo de transporte de los residuos hasta el lugar seleccionado y esto conlleva a que se presente algún aumento en los costos de tratamiento, también hay que hacer todas las conexiones (gas, electricidad, agua) ya que estos lotes no tienen ningún servicio y esto aumenta los costos.

**7.2.2.1 Costos.** Por el sector de la troncal (entrada a Maicao), se encuentran varios lotes que pueden ser utilizados para este fin, de un promedio de 6 visitados se obtienen los siguientes costos para arrendamiento o para comprar.

**Tabla 7. Costo de terreno**

	AREA LOTE (m <sup>2</sup> )	VALOR ARRIENDO (\$)	PRECIO TERRENO (\$)
MINIMO	750	600.000	60.000.000

MAXIMO	1600	1.800.000	150.000.000
--------	------	-----------	-------------

Para las condiciones que se tienen, es buena opción buscar un predio que califique dentro de los valores mínimos, con la posibilidad de financiar este costo con la prestación del servicio de tratamiento de los desechos a otras entidades similares.

Teniendo en cuenta las ventajas y desventajas mencionadas anteriormente, se le sugirió a la gerencia de la Clínica, que la mejor opción para la ubicación del incinerador es una zona no habitada, porque facilita operar a cualquier hora sin ocasionar perturbaciones a la comunidad, desde el punto de vista ambiental. Sin embargo, resulta muy costoso para la Clínica ya que tendría que adecuar un terreno para instalaciones de equipos y personal, a parte debe contar con un medio para el transporte de los residuos, lo cual requiere una alta inversión.

Por lo cual se decidió ubicar el equipo en las instalaciones de la Clínica, teniendo en cuenta que esta se encuentra ubicada en un sector comercial que normalmente labora hasta las 5: 00 PM, facilitando la operación del equipo en horas de la noche sin afectar a la comunidad.

## 8. CONTROL SONORO

El ruido aparenta ser el más inofensivo de los agentes contaminantes, puesto que es percibido fundamentalmente por un solo sentido, el oído, y ocasionalmente, en presencia de grandes niveles de presión sonora, por el tacto (percepción de vibraciones), en cambio el resto de los agentes contaminantes son captados por varios sentidos con similar nivel de molestia. Como si esto fuera poco, la percepción y daños de estos contaminantes suelen ser instantánea, a diferencia del ruido cuyos efectos son mediatos y acumulativos.

### 8.1 EFECTOS PSICOLÓGICOS DEL RUIDO

La salud no debe entenderse sólo como ausencia de enfermedad, sino que, salud debe ser sinónimo de bienestar físico y psíquico. La *Psicoacústica* es un área que se dedica a investigar sobre las alteraciones psíquicas que provoca el ruido en tareas de vital importancia para el desenvolvimiento humano. Entre estas citamos el sueño, la memoria, la atención y el procesamiento de la información.

**8.1.1 Efectos sobre el sueño** El ruido puede provocar dificultades para conciliar el sueño y también despertar a quienes están ya dormidos. En numerosas

oportunidades hemos escuchado la típica frase de que el sueño es la actividad que ocupa un tercio de nuestras vidas y este nos permite entre otras cosas descansar, ordenar, y proyectar nuestro consciente, esto es un hecho, así como también está claro que está constituido por a lo menos dos tipos distintos de sueño: El sueño clásico profundo (No REM (etapa de sueño profundo), el que a su vez se divide en cuatro fases distintas), y el sueño paradójico (REM). Se ha comprobado que sonidos del orden de los 60 dBA. reducen la profundidad del sueño. Dicha disminución se acrecienta a medida que crece la amplitud de la banda de frecuencias, las cuales pueden llegar a despertar al individuo, dependiendo de la fase del sueño en que se encuentre y de la naturaleza del ruido. Los estímulos débiles inesperados también pueden perturbar el sueño.

**8.1.2 Efectos sobre la conducta.** La aparición súbita de un ruido o la presencia de un agente sonoro molesto para el sujeto, puede producir alteraciones en su conducta que, al menos momentáneamente, puede hacerse más abúlica, o más agresiva, o mostrar el sujeto un mayor grado de desinterés o irritabilidad. Las alteraciones conductuales que son pasajeras en la mayor parte de las ocasiones, se producen porque el ruido ha provocado inquietud, inseguridad, o miedo en unos casos, o bien, son causa de un mayor falta de iniciativa en otros.

**8.1.3 Efectos en la memoria.** En tareas donde se utiliza la memoria, se observa un mejor rendimiento en los sujetos que no han estado sometidos al ruido. Ya que

con este ruido crece el nivel de activación del sujeto y esto, que en principio puede ser ventajoso, en relación con el rendimiento en cierto tipo de tareas, resulta que lo que produce es una sobre-activación que conlleva un descenso en el rendimiento. El ruido hace más lenta la articulación en la tarea de repaso, especialmente con palabras desconocidas o de mayor longitud. Es decir, en condiciones de ruido, el sujeto sufre un costo psicológico para mantener su nivel de rendimiento.

**8.1.4 Efectos en la atención.** El ruido repercute sobre la atención, focalizándola hacia los aspectos más importantes de la tarea, en detrimento de aquellos otros aspectos considerados de menor relevancia.

**8.1.5 Estrés.** Parece probado que el ruido se integra como un elemento estresante fundamental. Y no sólo los ruidos de alta intensidad son los nocivos. Ruidos incluso débiles, pero repetidos pueden entrañar perturbaciones neurofisiológicas aún más importantes que los ruidos intensos. Es preciso fundamentar más estudios para determinar los riesgos a largo plazo causados por la acción del ruido sobre el sistema nervioso autónomo.

**8.1.6 Efectos en el embarazo.** Se ha observado que las madres embarazadas que han estado desde el principio en una zona muy ruidosa, tienen niños que no sufren alteraciones, pero si se han instalado en estos lugares después de los 5

meses de gestación (en ese periodo el oído se hace funcional), después del parto los niños no soportan el ruido, lloran cada vez que lo sienten, y al nacer su tamaño es inferior al normal.

**8.1.7 Efectos sobre los niños.** El ruido es un factor de riesgo para la salud de los niños y repercute negativamente en su aprendizaje. Educados en un ambiente ruidoso se convierten en menos atentos a las señales acústicas y sufren perturbaciones en su capacidad de escuchar y un retraso en el aprendizaje de la lectura. Dificulta la comunicación verbal, favoreciendo el aislamiento y la poca sociabilidad. La exposición al ruido afecta al sistema respiratorio, disminuye la actividad de los órganos digestivos, acelerando el metabolismo y el ritmo respiratorio, provoca trastornos del sueño, irritabilidad, fatiga psíquica, etc.

## **8.2 DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL SONORO DEL EQUIPO**

Por las razones anteriores es necesario implementar ciertos dispositivos para el control sonoro del equipo, aunque es posible que no sobrepase el límite impuesto por la legislación nacional, que es de 85 db para un periodo de ocho horas, para este proyecto el límite estaría un poco por debajo, ya que, el equipo operara por un periodo aproximado de seis horas.

El nivel sonoro del equipo se puede controlar aislando acústicamente el sitio donde se ubique este, también se puede controlar por medio de controles electrónicos que envíen una señal cuando la intensidad sonora sobrepase los límites fijados.



## 9. DISEÑO DEL HORNO CREMATORIO

### 9.1 CONVENCIONES PARA EL DISEÑO DEL HORNO

Se presenta aquí las condiciones y parámetros necesarios para el diseño del horno, basándonos en la experiencia de algunos fabricantes consultados y recomendaciones expuestas en la bibliografía consultada. A continuación se reseña cada uno de ellos.

- Base de calculo 120 Kg.
- Para la primera cámara combustión estequiometrica.
- Condiciones de los reactantes (desechos) son,  $P = 1 \text{ atm}$ ,  $T_1 = 298 \text{ }^\circ\text{K} = 25^\circ\text{C}$ .
- Para el calculo de la temperatura adiabática de llama se inicia la iteración con una temperatura  $T_2 = 773 \text{ }^\circ\text{K} = 500^\circ\text{C}$ .
- El horno trabaja por periodos de 6 horas, cada 3 días.
- Teniendo en cuenta lo anterior la capacidad del horno es de 60 Kg / hr.

- La caída de presión en el ventilador de la primera cámara se asume de 10 cm H<sub>2</sub>O.
- Se asumen pérdidas por radiación del 5%
- Para el gas natural el valor de Z es igual a 0.987; P = 4.6 atm y T = 60°F datos suministrados por la empresa surtigas.
- Para el dimensionamiento de la cámara de post-combustión la velocidad de gases recomendada fue de 20 ft / sg . Gestión integral de residuos sólidos de McGraw Hill.
- En la cámara de post-combustión se asume un exceso de aire del 10%.
- La caída de presión en el ciclón se asume de 10 cm H<sub>2</sub>O. Según perry manual del ingeniero químico.
- El piso del horno deberá ser construido monolíticamente, con materiales refractantes aislantes.
- Las paredes interiores serán de ladrillos refractarios, deberán soportar una temperatura de trabajo de hasta 1473 °K (1200 °C).
- Para la construcción se seleccionaron los ladrillos refractarios silico-aluminoso U33 de la empresa ERECOS.
- En la cámara secundaria se deberá asegurar una temperatura mínima de 1473 °K (1200 °C).
- En la cámara primaria el tiempo de residencia de los gases deberá ser como mínimo de 0.2 segundos a 1123 °K (850 °C).

- En la cámara secundaria el tiempo de residencia de los gases deberá ser como mínimo de 2 segundos a 1473 °K (1200 °C).
- La velocidad optima de quemado será de 50 Kg/hr m<sup>2</sup>.

## LOS RESIDUOS

### 9.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DE

El conocimiento de la composición, cantidad y propiedades físico-químicas de los desechos a incinerar es una parte fundamental y necesaria para el correcto diseño del proceso. A partir de la caracterización es posible calcular la estequiometría de la combustión, la selección de la tecnología, tipo y capacidad del quemador, e incluso prever el sistema de depuración de gases.

Los ensayos de caracterización incluyen análisis químicos y físico-químicos que determinan:

- Análisis elemental ( C, H, O, N, S, Cenizas )
- Humedad
- Poder calorífico

Estos procedimientos son fácilmente aplicables a sustancias comunes, si embargo, dada la complejidad de los desechos hospitalarios, su grado de contaminación biológica y su heterogeneidad no son de fácil acceso.

Analizando el muestreo realizado se llegó al resultado que la clínica en promedio genera 120 Kg / día de desechos orgánicos. Los cuales están distribuidos de la siguiente forma:

- Algodones, gasas, vendas ⇒ 15%
- Tejidos orgánicos, partes y fluidos corporales que se mueven durante las autopsias, cirugías u otros ⇒ 65%
- Sondos, guantes, jeringas, bolsas de desechos ⇒ 20%

Con el fin de obtener una clasificación mas general y facilitar el análisis elemental de los desechos orgánicos, se optó por conformar tres grupos los cuales son:

- Tejidos orgánicos: partes y fluidos corporales que se mueven durante la autopsias, cirugías u otros
- Plásticos: sondos, guantes, jeringas, bolsas de desechos
- Textiles: algodones, gasas, vendas

La distribución en peso (Base húmeda) de los desechos orgánicos es la siguiente

**Tabla x. Distribución en peso húmedo del volumen diario generado en la clínica**

<b>Componentes</b>	<b>Peso húmedo (Kg)</b>
<b>Tejidos orgánicos</b>	78
<b>Plásticos</b>	24
<b>Textiles</b>	18
	120

El paso a seguir es la determinación del análisis elemental de los desechos, es decir el porcentaje carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre, cenizas que contiene cada uno de los componentes de los desechos orgánicos. Los resultados del análisis elemental se utilizan para caracterizar la composición química de la materia orgánica en los desechos orgánicos. Esta es la parte más fundamental de la investigación, de la confiabilidad de estos datos, depende el correcto diseño del equipo. A continuación se muestra el análisis elemental de los desechos individualmente.

**TABLA X. Datos típicos sobre el análisis elemental del material combustible presente en los residuos**

% EN BASE SECA						
Componentes	C	H	O	N	S	CENIZAS
Tejidos orgánicos	68,25	20,75	3,89	2,45	3,65	1,02
plásticos	60	7,2	22,8	0	0	10
textiles	55	6,6	31,2	4,6	0,15	2,5

Estos datos se obtuvieron de gestión integral de residuos sólidos de McGraw Hill y por medio de ensayos realizados por el grupo de Carbo-química de la universidad de Cartagena ( [ver anexos](#) )

La humedad juega un papel muy importante en el correcto diseño del horno, conociendo el contenido humedad de los desechos podemos seleccionar el quemador de la cámara primaria, también influye en el tiempo de residencia de los desechos y por supuesto en el dimensionamiento del horno. El contenido de humedad de los desechos se puede expresar. El método de medición peso-húmedo, la humedad de una muestra se expresa como un porcentaje del peso del material húmedo; en el método peso-seco, se expresa como un porcentaje del peso seco del material.

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

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

Donde:

M = Contenido de humedad, porcentaje.

w = Peso inicial de la muestra según su entrega ( Kg )

d = Peso de la muestra después de secarse 105°C durante una hora ( Kg )

Los datos sobre la humedad de los desechos se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla x. Datos típicos del contenido de humedad en los residuos**

CONTENIDO DE HUMEDAD % EN PESO		
Componentes	Rango	Típico
Tejidos Orgánicos		47,25
Plásticos	1--4	2
Textiles	6--15	10

Estos datos se obtuvieron de gestión integral de residuos sólidos de McGraw Hill y por medio de ensayos realizados por el grupo de Carbo química de la universidad de Cartagena ( [ver anexos](#) ).

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

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

donde:

C = Carbono, porcentaje en peso.

H<sub>2</sub> = Hidrógeno, porcentaje en peso.

O<sub>2</sub> = Oxígeno, porcentaje en peso.

S = Azufre, porcentaje en peso.

N = Nitrógeno, porcentaje en peso.

A continuación se muestra el contenido energético por kilogramo de desecho.

**Tabla x. Datos típicos del contenido energético de los residuos**

<b>Componentes</b>	<b>Energía, Kcal/Kg</b>
<b>Tejidos orgánicos</b>	555
<b>Plásticos</b>	7777,84
<b>Textiles</b>	4166,7

Estos datos se obtuvieron de gestión integral de residuos sólidos de Mgraw Hill y por medio de información suministrada por TKF.

La siguiente tabla muestra el análisis elemental del volumen de residuos generados en un día en la Clínica, a partir de estos datos se puede conocer la cantidad de moles presentes en los residuos y proceder al cálculo de la estequiometría de la combustión, como se mostrara mas adelante.

Tabla x. Distribución porcentual

de elementos que componen los residuos

Componentes	Peso húmedo (Kg)	Peso seco (Kg)	C	H	O	N	S	Cenizas
Tejidos orgánicos	78	41.145	28.081	8.53	1.63	1.008	1.5	0.415
Plásticos	24	23.52	14.11	1.69	5.36	0	0	2.352
Textiles	18	16.2	8.91	1.069	5.054	0.745	0.0243	0.425
	120	80.865	51.1	11.289	12.044	1.753	1.5243	3.192

Tabla x. Distribución porcentual de los elementos en base seca y húmeda

	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)	Cenizas (%)
Base seca	63.086	13.92	14.86	2.16	1.88	3.94
Base húmeda	42.58	13.03	39.025	1.46	1.27	2.66

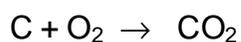
### 9.3 CALCULO PARA EL DISEÑO DEL HORNO DE PARILLA Y CÁMARA DE POST-COMBUSTIÓN

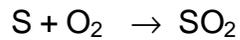
**9.3.1 Calculo de moles para una base húmeda de 120 Kg de residuos.** Es necesario determinar el numero de moles de cada elemento presente en los residuos, para así conocer mas adelante la estequiometria de la combustión.

**Tabla x. Calculo de moles**

	%	Kg	Kg/Kmol	
<b>arboño</b>	42.58	51.1	12	4.258
<b>Hidrogeno</b>	13.03	15.636	2	7.818
<b>Oxigeno</b>	39.025	46.83	32	1.46
<b>Nitrógeno</b>	1.46	1.753	28	0.0626
<b>Azufre</b>	1.27	1.5254	32	0.04766

**9.3.2 Calculo del caudal de aire teóricamente necesario para la combustión en la cámara primaria.** Es necesario conocer la cantidad de oxígeno necesario para que se den las tres reacciones de combustión, para así determinar la cantidad de aire necesario que se debe suministrar para que exista una combustión completa, o por lo menos estequiometrica. Las tres reacciones que se dan en una combustión son las siguientes.





$$X = 4.258 \text{ Kmol O}_2$$



$$X = 3.909 \text{ Kmol O}_2$$



$$X = 0.04766 \text{ Kmol O}_2$$

El oxígeno necesario para la combustión, es, es el oxígeno necesario para que se den las tres reacciones, menos el presente en los residuos.

$$\text{O}_2 \text{ teórico necesario} = (4.258 \text{ Kmol O}_2 + 3.909 \text{ Kmol O}_2 + 0.04766 \text{ Kmol O}_2) - 1.46$$

$$\text{O}_2 \text{ teórico necesario} = 6.755 \text{ Kmol O}_2$$

$$\text{N}_2 \text{ teórico necesario} = \text{O}_2 \text{ teórica/ necesario} * (0.79/0.21)$$

$$\text{N}_2 \text{ teórico necesario} = 6.755 \text{ Kmol O}_2 * (0.79/0.21)$$

$$\text{N}_2 \text{ teórico necesario} = 25.41 \text{ Kmol N}_2$$

$$\text{Aire necesario} = \text{O}_2 \text{ suministrado} * (1 \text{ Kmol aire}/0.21 \text{ Kmol O}_2)$$

$$\text{Aire necesario} = 6.755 \text{ Kmol O}_2 * (1 \text{ Kmol aire}/0.21 \text{ Kmol O}_2)$$

$$\text{Aire necesario} = 32.2 \text{ Kmol Aire} = 32200 \text{ mol Aire}$$

$$PV = nRT ;$$

Donde;

$$P = 1 \text{ atm} = 1.01325 \text{ bar};$$

$$R = 83.14 \text{ bar cm}^3 / \text{mol K};$$

$$n = 32200 \text{ mol}$$

$$T = 298 \text{ K}$$

$$1.01325 \text{ bar} * V = 32200 \text{ mol} * 83.14 \text{ bar cm}^3 / \text{mol K} * 298 \text{ K}$$

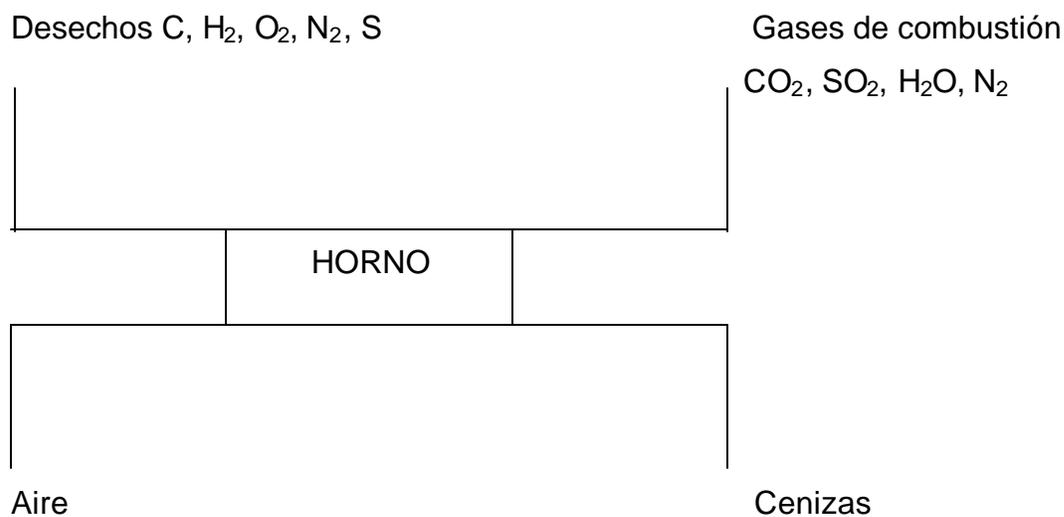
$$V = 787345851.5 \text{ cm}^3$$

$$V = 787.345 \text{ m}^3$$

$$Q = 787.345 \text{ m}^3 * 1/120 \text{ Kg} * 60 \text{ Kg/hr} * 1 \text{ hr}/3600 \text{ sg}$$

$$Q = 0.1093 \text{ m}^3 / \text{sg}$$

**9.3.3 Balance de masa de la cámara primaria.** En la figura x. Se esquematiza la entrada y salida de materia en la cámara primaria, en este balance no se tienen cuenta las reacciones del gas natural, debido a que el quemador de esta cámara no es de operación continua, simplemente su función es iniciar el proceso de combustión.



**Figura x. Esquema de balance de masa en la cámara primaria**

Reactantes a 1 atm y 25 °C

Productos a 1 atm y T<sub>2</sub>

$$C = 4528 \text{ mol}$$

$$CO_2 = 4528 \text{ mol}$$

$$H_2 = 7818 \text{ mol}$$

$$H_2O = 7832.2 \text{ mol}$$

$$O_2 = 1460+6755 \text{ mol}$$

$$SO_2 = 47.63 \text{ mol}$$

$$N_2 = 62.6+25410 \text{ mol}$$

$$N_2 = 25472.6 \text{ mol}$$

$$S = 47.66 \text{ mol}$$

**9.3.4 Cálculo de la temperatura adiabática de combustión.** La determinación de la temperatura de reacción adiabática o de la temperatura de llama puede requerir una solución por prueba y error. Evaluando las siguientes ecuaciones.

$$\Delta H_{298^\circ} = (\sum niC_{pprom}) \Delta T$$

$$\Delta H_{298^\circ} = (\sum niC_{pprom})(T_2 - T_1)$$

$$T_2 = \frac{\Delta H_{298^\circ}}{\sum niC_{pprom}} + T_1$$

$$\sum niC_{pprom} = R \left[ \sum niA + \sum niB \left( \frac{T_2 + T_1}{2} \right) + \frac{\sum niD}{T_2 T_1} \right]$$

$$R = 8.314 \frac{J}{mol^\circ K}$$

$$T_1 = 298^\circ K$$

**Tabla x. Calculo del contenido energético**

<b>Componentes</b>	<b>peso Kg</b>	<b>Energía Kcal/Kg</b>	<b>Energía total Kcal</b>
<b>Tejidos orgánicos</b>	78	555	43290
<b>Plásticos</b>	24	7777,84	186668,2
<b>Textiles</b>	18	4166,7	75000,6
	120		304958,8

$\Delta H^{\circ} 298 = \text{Energía total en los residuos} - \text{Evaporización del agua total}$

Evaporización del agua total = Evap. agua contenido en los residuos + Evap. agua formada.

$$\Delta H^{\circ} 298 = 304958.8 \text{ Kcal} + (578 \text{ Kcal/Kg} * 39.135 \text{ Kg} + 5.644 \text{ Kmol} * 18 \text{ KgH}_2\text{O/Kmol})$$

$$\Delta H^{\circ} 298 = 223618.554 \text{ Kca}$$

$$\Delta H^{\circ} 298 = 936246161.88 \text{ J}$$

**Tabla x. Calculo de constantes para la ecuación de capacidad calorífica para los productos gaseosos**

	<b>n</b>	<b>A</b>	<b>Bx10<sup>3</sup></b>	<b>Dx10<sup>-5</sup></b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	4258	5,457	1,045	-1,157

<b>SO<sub>2</sub></b>	47,66	5,699	0,801	-1,015
<b>H<sub>2</sub>O</b>	7818	3,47	1,45	0,121
<b>N<sub>2</sub></b>	25472.6	3,28	0,593	0,04

$$\sum niA_i = 134186.1$$

$$\sum niB_i = 30929.14 \times 10^{-3}$$

$$\sum niD_i = -3010 \times 10^5$$

$$T_2 = \frac{9362459358.88}{\sum niC_p} + 298$$

$$\sum niC_p = R \left( \sum niA_i + \sum niB_i \left( \frac{T_1 + T_2}{2} \right) + \frac{\sum niD_i}{T_1 T_2} \right)$$

$$\sum niC_p = 8.314 \frac{j}{mol^\circ K} \left( 134186.1 + 30929.14 \times 10^{-3} \left( \frac{298 + T_2}{2} \right) - \frac{3010 \times 10^5}{298 T_2} \right)$$

Por prueba y error:

**Tabla x. Calculo de capacidad calorífica promedio y temperatura adiabática de llama**

<b>T2 Asumida(°K)</b>	<b>∑niCp</b>	<b>T2 Calculada(°K)</b>
873	1256562.2	1043.085
1043.085	1279999	1029.44
1029.44	1278138.25	1030.5
1030.5	1278283.6	1030.42
1030.42	1278272.23	1030.43
1030.43	1278273.12	1030.43

$$T_2 = 1030.43^\circ K = 760^\circ C$$

**9.3.5 Cálculo de la temperatura real de llama.** Para el cálculo de esta temperatura se asume una pérdida de calor por radiación del cinco por ciento del calor necesario para la reacción, también hay una pérdida por el calor contenido en la materia inorgánica ( cenizas ), para el cálculo de calor contenido en las cenizas se asume una temperatura final de 250 °C.

$$Q_{\text{cenizas}} = m \cdot C_p \cdot \Delta T = 3.19 \text{ Kg} \cdot 0.249 \text{ Kcal/ Kg}^\circ\text{C} \cdot (760 - 250)^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{cenizas}} = 405.1 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{cenizas}} = 1696064.072 \text{ J}$$

$$Q_{\text{radiacion}} = 0.05 \cdot 936246161.88 \text{ J}$$

$$Q_{\text{radiacion}} = 46812308.1 \text{ J}$$

$$\Delta H_{298} \text{ real} = 936246161.88 \text{ J} - (1696064.72 + 46812308.1) \text{ J}$$

$$\Delta H_{298} \text{ real} = 887737789.061 \text{ J}$$

De igual forma que en el calculo de la temperatura adiabatica de llama, se itera, hasta llegar al valor de  $T_2$ .

Por prueba y error

**Tabla x. Calculo de capacidad calorífica y temperatura real de llama**

<b>T2 Asumida(°K)</b>	<b>ánCp</b>	<b>T2 Calculada(°K)</b>
873	1256562.2	1004.48
1004.48	1274726.2	994.41
994.41	1273374.24	995.16
995.16	1273450.61	995.11
995.11	1273442.85	995.11

$$T_2 = 722 \text{ }^\circ\text{C} = 995 \text{ K}$$

### 9.3.6 Dimensionamiento de la cámara primaria

Área de parrilla = flujo masico / velocidad optima de quemado

$$\text{Área de parrilla} = (60 \text{ kg /hr}) / (50 \text{ Kg / hr m}^3)$$

$$\text{Área de parrilla} = 1.2 \text{ m}^2$$

$\theta$  = Tiempo de residencia

$$\theta = 25 \text{ min}$$

$$\theta = (\text{vol sólido}) / (\text{flujo volumétrico})$$

$$\text{flujo volumétrico} = m / \rho$$

$$m = \text{flujo masico} = 60 \text{ Kg / hr}$$

$$\rho = \text{densidad} = 706.80 \text{ Kg / m}^3$$

$$\text{flujo volumétrico} = (60 \text{ Kg/hr}) * (1 \text{ hr} / 60 \text{ min}) * 1 / (706.8 \text{ Kg / m}^3)$$

$$\text{flujo volumétrico} = 1.4148 * 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{min}$$

$$\text{Volumen sólido} = \theta * \text{flujo volumétrico}$$

$$\text{Volumen sólido} = 25 \text{ min} (1.4141 * 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{min})$$

$$\text{Volumen sólido} = 3.5653 * 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Sólido} = 0.1 (\text{Volumen cámara primaria})$$

$$\text{Volumen cámara primaria} = \text{Volumen sólido} / 0.1$$

$$\text{Volumen cámara primaria} = 3.5653 * 10^{-2} \text{ m}^3 / 0.1$$

$$\text{Volumen cámara primaria} = 0.3565 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen cámara primaria} = \text{Área de parrilla} * \text{Altura}$$

$$h = \text{Volumen cámara primaria} / \text{Área de parrilla}$$

$$h = 0.3565 \text{ m}^3 / 1.2 \text{ m}^2$$

$$h = 0.297 \text{ m} = 0.3 \text{ m}$$

**9.3.7 Selección del ventilador de la cámara primaria.** Para la selección del ventilador se toma una velocidad de 20 m/sg en la descarga, esta velocidad es recomendada. También una caída de presión de 10 cm de agua.

$$Q = 0.1093 \text{ m}^3/\text{sg}$$

$$T = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$$

$$\Delta P = 10 \text{ cm H}_2\text{O} = 9.6687 \cdot 10^{-3} \text{ atm}$$

$$V_2 \text{ (descarga)} = 20 \text{ m/sg}$$

$$V_1 \text{ (succión)} = 0$$

$$P_2 \text{ (descarga)} = 1.009668 \text{ atm}$$

$$P_1 \text{ (succión)} = 1 \text{ atm}$$

De la tabla de densidad de aire, con,  $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $P_{\text{man}} = 0 \text{ bar}$

$$\rho_1 = 1.184 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_2 = \rho_1 (P_2 / P_1)$$

$$\rho_2 = 1.184 \text{ Kg/m}^3 * ( 1.0096668 \text{ atm} / 1 \text{ atm} )$$

$$\rho_2 = 1.1954 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho = (\rho_1 + \rho_2) / 2$$

$$\rho = ( 1.184 \text{ Kg/m}^3 + 1.1954 \text{ Kg/m}^3 ) / 2$$

$$\rho = 1.1897 \text{ Kg/m}^3$$

Flujo masico = m

$$m = (Q \cdot M) / \text{vol. Molar}$$

Donde

Q = caudal de aire

M = peso molecular del aire

Volumen molar = 23.645 m<sup>3</sup> / Kmol

$$m = ( 0.1093 \text{ m}^3/\text{sg} * 28.97 \text{ Kg / Kmol} ) / 23.645 \text{ m}^3 / \text{Kmol}$$

$$m = 0.1339 \text{ Kg / sg}$$

$$\frac{P_2 - P_1}{r} = \frac{(102304.61 - 101325) \frac{N}{m^2} * \frac{0.102 \text{ Kgf}}{1N}}{1.1897 \frac{\text{Kg}}{m^3}}$$

$$\frac{P_2 - P_1}{r} = 83.98 \frac{\text{Kgf} * m}{\text{Kg}}$$

La carga de velocidad; V = 20 m / sg ( recomendada )

$$\frac{V_2^2}{2g_c} = \frac{(20 \frac{m}{sg})^2}{2 * 9.81}$$

$$\frac{V_2^2}{2g_c} = 20.38 \frac{Kgf * m}{Kg}$$

$$W = \frac{1}{h} * \left( \frac{P_2 - P_1}{r} + \frac{V_2^2}{2g_c} \right)$$

$$W = \frac{1}{0.7} * (83.98 + 20.84) \frac{Kgf * m}{Kg}$$

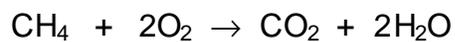
$$W = 149.085 \frac{Kgf * m}{Kg}$$

$$P_b = \frac{m * W}{75}$$

$$P_b = \frac{0.1339 \frac{Kg}{sg} * 149.085 \frac{Kgf * m}{Kg}}{75}$$

$$P_b = 0.2661 hp$$

### 9.3.8 Calculo de las moles de CH<sub>4</sub> necesarias para la cámara de post-combustión.



$$\Delta H_{298K} \text{ CH}_4 = -74520 \text{ J}$$

$$\Delta H_{298K} \text{ CO}_2 (\text{g}) = 393509 \text{ J}$$

$$\Delta H_{298K} 2\text{H}_2\text{O} (\text{g}) = 2(-241818) \text{ J}$$

---


$$\Delta H_{298K} = -802625 \text{ J}$$

Gases de la cámara primaria

**Tabla x. Calculo de constante para la**

**capacidad calorífica**

	<b>n</b>	<b>A</b>	<b>Bx10<sup>3</sup></b>	<b>Dx10<sup>-5</sup></b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	4258	5,457	1,045	-1,157
<b>SO<sub>2</sub></b>	47,66	5,699	0,801	-1,015
<b>H<sub>2</sub>O</b>	7818	3,47	1,45	0,121
<b>N<sub>2</sub></b>	25472.6	3,28	0,593	0,04

$$\sum niA_i = 134186.1$$

$$\sum niB_i = 30929.14 \times 10^{-3}$$

$$\sum niD_i = -3010 \times 10^5$$

$$niC_{pprom} = R \left[ \sum niA_i + \sum niB_i \left( \frac{T_2 + T_1}{2} \right) + \frac{\sum niD_i}{T_2 T_1} \right]$$

$$R = 8.314 \text{ ( J/mol K)}$$

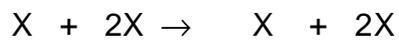
$$T_1 = 722 \text{ }^\circ\text{C} = 995 \text{ K}$$

$$T_2 = 1200 \text{ }^\circ\text{C} = 1473 \text{ K}$$

Evaluando en la ecuación

$$niC_{pprom} = 14312332.54 \text{ J}$$

Gases de combustión del metano



Donde;

X = Moles de metano

$$\text{O}_2 \text{ teórico} = 2X$$

$$\text{O}_2 \text{ suministrado} = \text{O}_2 \text{ teórico} * \text{Exceso de O}_2$$

$$\text{O}_2 \text{ suministrado} = 2X * 1.1$$

$$\text{O}_2 \text{ suministrado} = 2.2 X$$

El oxígeno que sale en los gases de combustión es el que resulta, de la diferencia, oxígeno entre el oxígeno suministrado y el oxígeno teórico.

$$O_2 \text{ Sale} = 0.2 X$$

$$N_2 \text{ suministrado} = O_2 \text{ suministrado} * (0.79/0.21)$$

$$N_2 \text{ suministrado} = 2.2 X * (0.79/0.21)$$

$$N_2 \text{ suministrado} = 8.27 X$$

**Tabla x. Calculo de la capacidad calorífica para los gases de la combustión del gas natural**

	n	A	Bx10 <sup>3</sup>	Dx10 <sup>-5</sup>
CO <sub>2</sub>	X	5,457	1,045	-1,157
H <sub>2</sub> O	2X	3,47	1,45	0,121
O <sub>2</sub>	0,2X	3,639	0,506	-0,227
N <sub>2</sub>	8,28X	3,28	0,593	0,04

$$\Sigma niAi = 40.2832 X$$

$$\Sigma niBi = 8.9*10^{-3} X$$

$$\Sigma niDi = -0.6292*10^5 X$$

$$niC_{pprom} = R \left[ \Sigma niAi + \Sigma niBi \left( \frac{T_2 + T_1}{2} \right) + \frac{\Sigma niDi}{T_2 T_1} \right]$$

$$T_1 = 298 K$$

$$T_2 = 1473 \text{ K}$$

$$R = 8.314 \text{ J/mol K}$$

Evaluando en la ecuación

$$n_i C_{p, \text{prom}} = 399.24 X$$

Cenizas

$$m_{\text{cenizas}} * C_p * \Delta T = (3.19 \text{ Kg}) * (0.249 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C}) * (722-250) ^\circ\text{C}$$

$$m_{\text{cenizas}} * C_p * \Delta T = 374.91 \text{ Kcal}$$

$$m_{\text{cenizas}} * C_p * \Delta T = 1569691.27 \text{ J}$$

$$\Delta H_{\text{reaccion}} * X * 0.95 + m_{\text{cenizas}} * C_p * \Delta T = n_i C_{p, \text{prom}} (\text{ cámara primaria}) + n_i C_{p, \text{prom}} (\text{ metano})$$

$$-(802625) * X * 0.95 + 1569691.27 = 1434647.5 + 399.24 * X$$

$$X = 0.15 \text{ mol}$$

### 9.3.9 Calculo del volumen de aire necesario para la cámara de post – combustión.

$$O_2 \text{ Suministrado} = 2.2 \text{ X}$$

$$O_2 \text{ Suministrado} = 2.2 (0.150 \text{ mol})$$

$$O_2 \text{ Suministrado} = 0.33086 \text{ mol.}$$

$$\text{Moles de aire necesarias} = 0.33086 \text{ mol } O_2 * ( 1 \text{ mol aire} / 0.21 \text{ mol } O_2 )$$

$$\text{Moles de aire necesarias} = 1.575 \text{ mol Aire.}$$

$$PV = nRT$$

Donde ;

$$P = 1 \text{ atm} = 1.01325 \text{ bar}$$

$$n = 1.575 \text{ mol}$$

$$R = 83.14 \text{ bar cm}^3 / \text{mol K}$$

$$T = 298 \text{ K}$$

$$1.013325 \text{ bar} * V = 1.575 \text{ mol} * 83.14 \text{ bar cm}^3 / \text{mol K} * 298 \text{ K}$$

$$V = 38524.93 \text{ cm}^3$$

$$V = 3.8524 * 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ Aire}$$

### 9.3.10 Calculo del volumen de gas natural para la combustión en la cámara de post-combustión.

$$PV = ZnRT$$

Donde ;

$$P = 4.6 \text{ atm} = 4.66095 \text{ bar}$$

$$Z = 0.987$$

$$n = 0.15 \text{ mol}$$

$$R = 83.14 \text{ bar cm}^3 / \text{mol K}$$

$$T = 60 \text{ F} = 288.705 \text{ K}$$

$$4.66095 \text{ bar} * V = 0.987 * 0.15 \text{ mol} * 83.14 \text{ bar cm}^3 / \text{mol K} * 288.705 \text{ K}$$

$$V = 762.42 \text{ cm}^3$$

$$V = 7.624220 * 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ CH}_4$$

**9.3.11 Dimensionamiento de la cámara de post-combustión.** A la cámara de post-combustión llegan los gases de combustión provenientes de la cámara primaria (  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{N}_2$  ); también están presentes los gases de la combustión del metano y el oxígeno adicional suministrado.

Gases primera cámara	Gasea combustión del metano
$\text{CO}_2 = 4258 \text{ mol}$	$\text{CO}_2 = 0.15 \text{ mol}$
$\text{SO}_2 = 47.66 \text{ mol}$	
$\text{H}_2\text{O} = 7818 \text{ mol}$	$\text{H}_2\text{O} = 0.30 \text{ mol}$
$\text{N}_2 = 25472.6 \text{ mol}$	$\text{N}_2 = 1.2405 \text{ mol}$
	$\text{O}_2 = 0.03 \text{ mol}$

Total de moles presentes en la cámara de post-combustión = 37597.9805 mol

Para calcular el volumen de gas presente en la cámara de post-combustión recurrimos a la expresión de:

$$PV = nRT$$

Donde;

$$P = 1 \text{ atm} = 1.01325 \text{ bar}$$

$$n = 37597.98 \text{ mol}$$

$$R = 83.14 \text{ bar cm}^3 / \text{mol K}$$

$$T = 1200 \text{ }^\circ\text{C} = 1473 \text{ K}$$

$$1.01325 \text{ bar} * V = 37597.98 \text{ mol} * 83.14 \text{ bar cm}^3 / \text{mol K} * 1473 \text{ K}$$

$$V = 4544.23 * 10^6 \text{ cm}^3$$

$$V = 4544.23 \text{ m}^3$$

Velocidad de gases = 20 ft / sg ( recomendada Gestión integral residuos sólidos )

$$v = 20 \text{ ft / sg} = 6.1 \text{ m / sg}$$

Q = caudal de gases

$$Q = 4544.23 \text{ m}^3 * ( 1 / 120 \text{ Kg} ) * 60 \text{ Kg / hr} * ( 1 \text{ hr} / 3600 \text{ sg} )$$

$$Q = 0.6311 \text{ m}^3 / \text{sg}$$

$$Q = vA$$

Donde;

Q = Caudal de gases

v = Velocidad de gases

A = Sección transversal

$$0.6311 \text{ m}^3 / \text{sg} = 6.1 \text{ m} / \text{sg} * A$$

$$A = 0.1034 \text{ m}^2$$

Tomando una seccion transversal cuadrada.

$$A = l^2$$

$$0.1034 = l^2$$

$$l = 0.3215 \text{ m}$$

$\theta$  = Tiempo de residencia de los gases

$\theta$  = Volumen de la cámara / Caudal de gases

$$2 \text{ sg} = \text{Volumen de la cámara} / (0.6311 \text{ m}^3 / \text{sg})$$

$$\text{Volumen de la cámara} = 1.2622 \text{ m}^3$$

h = Altura de la cámara

h = Volumen de la cámara / Sección Transversal

$$h = 1.2622 \text{ m}^3 / 0.1034 \text{ m}^2$$

$$h = 12.20 \text{ m}$$

Como el area que se calculo, es la seccion transversal del ducto de circulación de los gases, la altuta calculada, no es ppiamente una altura, seria mas bien la

longitud del ducto de circulación de los gases, para que cumplan las condiciones de velocidad y tiempo de residencia. La cámara como tal será este ducto calculado, arreglado en forma laberíntica. Es decir, en vez de un solo ducto de 12.2 m de longitud, serán varios ductos de menor longitud.

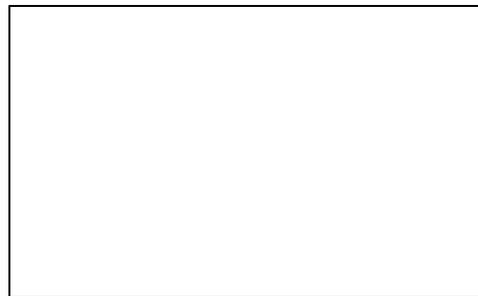
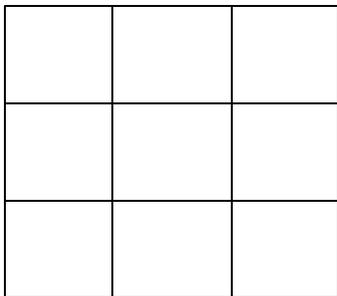
Longitud total del ducto =  $L_t$

$L_t = 12.2 \text{ m}$

Numero de ductos =  $12.2 \text{ m} / 1.4 \text{ m}$

Numero de ductos = 8.714

Numero de ductos  $\cong 9$



### **DISEÑO DEL CICLÓN**

Se asume una velocidad de entrada de los gases de 15 m / sg. ( sugerida por Perry ). También se asume una caída de presión de 20 cm de  $\text{H}_2\text{O}$ .

$\Delta p =$  Caída de presión

$P_2$  = Presión en la salida del ciclón

$P_1$  = Presión en la entrada del ciclón

$$\Delta p = 20 \text{ cm H}_2\text{O} = 1.9373 * 10^{-2} \text{ atm}$$

$$P_2 = 1 \text{ atm}$$

$$P_2 - P_1 = \Delta p$$

$$P_1 = P_2 - \Delta p$$

$$P_1 = 1 \text{ atm} - 1.9373 * 10^{-2} \text{ atm}$$

$$P_1 = 0.98066 \text{ atm}$$

$$PV = nRT$$

Donde;

$$P = 0.98066 \text{ atm}$$

$$n = 37597.9805 \text{ mol}$$

$$R = 0.083 \text{ ltr atm / mol K}$$

$$T = 1473 \text{ K}$$

$$0.98066 \text{ atm} * V = 37597.9805 \text{ mol} * 0.083 \text{ ltr atm / mol K} * 1473 \text{ K}$$

$$V = 4687344.74 \text{ ltr}$$

$$V = 4687.34 \text{ m}^3$$

$$Q = vA_e$$

Donde;

Q = Caudal de gases que entran al ciclón

v = Velocidad de los gases que entran al ciclón

Ae = Área de entrada al ciclón

$$Q = 4687.34 \text{ m}^3 * ( 1 / 120 \text{ Kg } ) * 60 \text{ Kg / hr } * ( 1 \text{ hr } / 3600 \text{ sg } )$$

$$Q = 0.6510 \text{ m}^3 / \text{sg}$$

$$0.6510 \text{ m}^3 / \text{sg} = 15 \text{ m / sg } * A_e$$

$$A_e = 0.0434 \text{ m}^2$$

$$A_e = B_c * H_c$$

$$B_c = D_c / 4 \quad , \quad H_c = D_c / 2$$

$$A_e = D_c^2 / 8 \Rightarrow 0.0434 \text{ m}^2 = D_c^2 / 8 \Rightarrow D_c = 0.589 \text{ m}$$

$$B_c = D_c / 4 = 0.589 / 4 \Rightarrow B_c = 0.14725 \text{ m}$$

$$H_c = D_c / 2 = 0.589 / 2 \Rightarrow H_c = 0.2945 \text{ m}$$

$$De = Dc / 2 = 0.589 / 2 \Rightarrow De = 0.2954 \text{ m}$$

$$Lc = 2Dc = 2(0.589) \Rightarrow Lc = 1.178 \text{ m}$$

$$Sc = Dc / 8 = 0.589 / 8 \Rightarrow Sc = 0.073625 \text{ m}$$

$$Zc = 2Dc = 2(0.589) \Rightarrow Zc = 1.178 \text{ m}$$

$$Jc = Dc / 4 = 0.589 / 4 \Rightarrow Jc = 0.15725 \text{ m}$$

## SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Asumiendo una caída de presión de 1.46 psi = 0.1 atm en el intercambiador

$$P_1 \text{ (succión)} = 1 \text{ atm} - 30 \text{ cm H}_2\text{O}$$

$$P_1 = 0.9709 \text{ atm}$$

$$P_2 \text{ (descarga)} = 1.1 \text{ atm}$$

$$PM = \rho RT$$

$$0.9709 \text{ atm} \times 27.77 \text{ gr/mol} = \rho \times 0.0821 \frac{\text{ltrAtm}}{\text{molK}} \times 1473 \text{ K}$$

$$\rho = 0.2229 \text{ gr / ltr}$$

$$\rho = 0.2229 \text{ Kg / m}^3$$

$$\rho_1 \text{ (Succión)} = 0.2229 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_2 = \rho_1 (P_2 / P_1) \Rightarrow \rho_2 = 0.2229 \left( \frac{1.1}{0.9709} \right)$$

$$\rho_2 = 0.2525 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

$$\rho = (\rho_1 + \rho_2) / 2 = \frac{0.2229 + 0.2525}{2}$$

$$\rho = 0.2377 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Flujo masico = m

$$m = Q\rho$$

$$m = 0.5740 \frac{\text{m}^3}{\text{Sg}} \times 0.2377 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$m = 0.14 \frac{\text{Kg}}{\text{Sg}}$$

$$\frac{P_2 - P_1}{r} = \frac{(111457,5 - 98376,44) \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times \frac{0.102 \text{Kgf}}{\text{N}}}{0.2377 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\frac{P_2 - P_1}{r} = 5613,24 \frac{\text{Kgfxm}}{\text{Kg}}$$

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2gc} = \frac{(30 - 15)}{2(9.81)} = 34.41 \frac{\text{Kgfxm}}{\text{Kg}}$$

$$W = \frac{1}{n} \left( \frac{P_2 - P_1}{r} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2gc} \right)$$

$$W = \frac{1}{0.65} (5613.24 + 34.41) \frac{Kgf \cdot m}{Kg}$$

$$W = 8688,7 \frac{Kgf \cdot m}{Kg}$$

$$P_b = \frac{mW}{75} = \frac{0.14 \times 8688.7}{75}$$

$$P_b = 16.21 \text{ hp}$$

## SISTEMA DE RECUPERACION DE CALOR

Los gases provenientes de la cámara de post – combustión son ricos en energía térmica, por la alta temperatura a la que son expulsados, esta energía puede ser recuperada y aprovechada de múltiples formas, una de las formas de aprovechamiento es la generación de vapor para sistemas de calefacción. También se puede aprovechar en el precalentamiento del agua de circulación de calderas, para este proyecto se selecciono esta opción teniendo en cuenta que la clínica San Jorge cuenta con una caldera, a su vez la implementación de un equipo de recuperación de calor ayuda a bajar la temperatura de salida de los

gases, ya que al emitir a la atmósfera estos a temperaturas alrededor de 1200

°C producen contaminación térmica, lo cual es causa de lluvias ácidas.

Para este proyecto se selecciono un intercambiador de tubo y coraza para la recuperación de energía, ya que este presenta ventaja con respecto a un intercambiado de doble tubo en el aspecto de las limitaciones de espacio.

## PROPIEDADES DE MEZCLA DE GASES

Para diseñar un intercambiador de calor es necesario conocer algunas propiedades de las corrientes que van a circular, como lo son viscosidad  $\mu$ , conductividad térmica K. Para el caso de líquidos y algunos gases estas propiedades se encuentran tabuladas, para este diseño tiene un carácter especial debido a que la corriente caliente es una mezcla de gases y por lo tanto resulta un poco más complejo la evaluación de estas propiedades. A continuación se muestra el cálculo de estas propiedades para la mezcla de gases a una temperatura promedio de operación.

$$T_1 = 1200 \text{ }^\circ\text{C} = 2192 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 300 \text{ }^\circ\text{C} = 572 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T = ( T_1 + T_2 ) / 2$$

$$T = ( 2192 + 572 ) \text{ }^\circ\text{F} / 2$$

$$T = 1382 \text{ }^\circ\text{F}$$

Se evaluará la viscosidad y conductividad térmica de la mezcla de gases a una temperatura de 1382 °F.

A continuación se exponen las ecuaciones por medio de las cuales se evalúan estas propiedades .

$$m = \sum \frac{Y_i \mu_i}{\sum Y_i f_{ij}}$$

$$f_{ij} = \frac{\left[ 1 + \left( \frac{\mu_i}{\mu_j} \right)^{1/2} * \left( \frac{M_j}{M_i} \right)^{1/4} \right]^2}{\left[ 8 \left( 1 + \frac{M_i}{M_j} \right) \right]^{1/2}}$$

Donde;

$Y_i$  = Fracción molar

$\mu_i$  = viscosidad individual de cada gas

$M$  = Peso molecular de cada gas

$$K = \sum \frac{Y_i K_i}{\sum Y_i f_{ij}}$$

$$f_{ij} = \frac{\left[ 1 + \left( \frac{K_i}{K_j} \right)^{1/2} * \left( \frac{M_j}{M_i} \right)^{1/4} \right]^2}{\left[ 8 \left( 1 + \frac{M_i}{M_j} \right) \right]^{1/2}}$$

Donde;

$Y_i$  = Fracción molar

$K_i$  = conductividad térmica individual de cada gas

$M$  = Peso molecular de cada gas

A continuación se evaluarán las anteriores ecuaciones :

**Tabla x. Propiedades individuales de los gases**

	<b>Y<sub>i</sub>% Fracción molar</b>	<b>M Peso molecular</b>	<b>Viscosidad m<math>\times 10^7</math> poise</b>	<b>K Btu/hr ft (°F/ft)</b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	11.325	44	4700	$2.86 \times 10^{-2}$
<b>H<sub>2</sub>O</b>	20.794	18	3700	$4.97 \times 10^{-2}$
<b>SO<sub>2</sub></b>	0.126	64	4500	$9.5 \times 10^{-3}$
<b>N<sub>2</sub></b>	67.75	28	4400	$2.27 \times 10^{-2}$
<b>O<sub>2</sub></b>	$7.979 \times 10^{-5}$	32	5000	$2.37 \times 10^{-2}$

i	i	Mi/Mg	VISCOSIDAD (m)				CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (K)			
			mi/m j	fi j	Yi f ij	āYi f ij	Ki/Kj	fij	Yif ij	āYif ij
1	1	1	1	1	0.11325	0.81039	1	1	0.11325	0.8172
	2	2.44	1.27	0.6893	0.1433		0.5754	0.4922	0.1023	
	3	0.6875	1.044	1.2256	0.00154		3.01	2.2972	0.00289	

Tabla x. Calculo de viscosidad y conductividad térmica para mezcla de gases

	4	1.5714	1.068	0.8153	0.5523		1.259	0.8838	0.5987	
	5	1.375	0.94	0.8241	6.57x10 <sup>-7</sup>		1.206	0.9306	7.42x10 <sup>-7</sup>	
2	1	0.409	0.7892	1.3253	0.15	1.1256	1.737	2.0885	0.2365	1.7659
	2	1	1	1	0.20794		1	1	0.20794	
	3	0.2815	0.8222	1.5744	0.00198		5.231	5.3551	0.00874	
	4	0.6428	0.8409	1.1301	0.7656		2.189	1.9405	1.3146	
	5	0.5625	0.74	1.1238	8.96x10 <sup>-7</sup>		2.097	2.0195	1.611x10 <sup>-7</sup>	
3	1	1.4545	0.9574	0.8069	0.0913	0.6436	0.3321	0.5246	0.0594	0.4842
	2	3.55	1.2162	0.539	0.112		0.1911	0.2881	0.0599	
	3	1	1	1	0.00126		1	1	0.00126	
	4	2.2857	1.0227	0.6478	0.4388		0.4185	0.4542	0.3077	
	5	2	0.9	0.6597	5.23x10 <sup>-7</sup>		0.4008	0.4793	3.824x10 <sup>-7</sup>	
4	1	0.6363	0.9361	1.1995	0.1358	0.994828	0.7937	1.1028	0.1248	0.924
	2	1.555	1.1891	0.864	0.1796		0.4568	0.5699	0.1185	
	3	0.4375	0.9777	1.4477	0.0018		2.3894	2.481	0.0031	
	4	1	1	1	0.6775		1	1	0.6775	
	5	0.875	0.88	1.0019	7.99x10 <sup>-7</sup>		0.9578	1.0451	8.33x10 <sup>-7</sup>	
5	1	0.7292	1.0683	1.2055	0.1365	0.99098	0.8286	1.0591	0.1199	0.8824
	2	1.7777	1.3513	0.8542	0.1776		0.4768	0.5417	0.1126	
	3	0.5	1.1111	1.466	0.00184		2.495	2.3917	0.003	
	4	1.1428	1.13636	0.9963	0.6749		1.044	0.9547	0.6468	
	5	1	1	1	7.97x10 <sup>-7</sup>		1	1	7.97x10 <sup>-7</sup>	

El siguiente paso consiste en el reemplazo de los factores de la tabla anterior en las ecuaciones de viscosidad y conductividad térmica.

$$m = \sum \frac{Y_i m_i}{\sum Y_i f_{ij}}$$

$$m = \frac{0.11235(4700 \times 10^{-7})}{0.81039} \text{ poise} + \frac{0.20794(3700 \times 10^{-7})}{1.1256} \text{ poise} + \frac{0.00126(4500 \times 10^{-7})}{0.6436} \text{ poise}$$

$$+ \frac{0.6775(4400 \times 10^{-7})}{0.9948} \text{ poise} + \frac{7.979 \times 10^{-7}(5000 \times 10^{-7})}{0.99098} \text{ poise}$$

$$m = 4345.73 \times 10^{-7} \text{ poise}$$

$$K = \sum \frac{Y_i K_i}{\sum Y_i f_{ij}}$$

$$K = \frac{0.11235(2.86 \times 10^{-2})}{0.8172} + \frac{0.20794(4.97 \times 10^{-2})}{1.7659} + \frac{0.00126(9.5 \times 10^{-3})}{0.4282}$$

$$+ \frac{0.6775(2.27 \times 10^{-2})}{0.9240} + \frac{7.979 \times 10^{-7}(2.37 \times 10^{-2})}{0.8824}$$

$$K = 2.6487 \times 10^{-2} \frac{BTU}{(hr Ft^2)(^\circ F / Ft)}$$

## DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR (TUBO Y CORAZA)

Asumiendo una caída de presión de 1.46 psi = 0.1 atm

$$Q = VA$$

$$PV = nRT,$$

$$1.1\text{atm} \times V = 37.597,98 \text{ mol} \times 0.0821 \frac{\text{ltr atm}}{\text{mol K}} \times 1473 \text{ K}$$

$$V = 4133.497,99 \text{ ltr}$$

$$V = 4133,497 \text{ m}^3$$

$$Q = 4133,5 \text{ m}^3 \times \frac{1}{120 \text{Kg}} \times \frac{60 \text{Kg}}{\text{hr}} \times \frac{1 \text{hr}}{3600 \text{Sg}}$$

$$Q = 0.5740 \frac{\text{m}^3}{\text{Sg}}$$

$$Q = VA$$

Vel descarga = 30 m/sg

$$0.5740 \frac{m^3}{Sg} = 30 \frac{m}{Sg} A \Rightarrow A = 1.9133 \times 10^{-2} m^2$$

$$A = (\Pi / 4) D^2$$

$$1.9133 \times 10^{-2} m^2 = (\Pi / 4) D^2$$

$$D = 0.1560 m$$

$$D = 6.14 in \cong 8 in$$

Se selecciona el siguiente arreglo

Coraza: Fluido frío : Agua

$$DI = 8 In$$

Espaciado de deflectores = 5 In

$$\text{Pasos} = 1$$

Tubos: Fluido caliente : gases

Numero y longitud = 30,8 Ft

DE, BWG, Pt =  $\frac{3}{4}$  in, 14, 1 in

$$\text{Paso} = 2$$

Gases

$$T_1 (\text{entrada}) = 1200 \text{ }^\circ\text{C} = 2192 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_2 (\text{salida}) = 300 \text{ }^\circ\text{C} = 572 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_a = 1382 \text{ }^\circ\text{F}$$

Agua

$$T_1 (\text{entrada}) = 86 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_2 (\text{salida}) = 110 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$t_a = 98 \text{ }^\circ\text{F}$$

Flujo caliente		Flujo frío	Dif
2192	Alta temperatura	110	2082
<u>572</u>	Baja temperatura	<u>86</u>	486
1620		24	

$$MLTD = \frac{(2082 - 486)F}{2.3 \log \frac{2082}{486}} \Rightarrow MLTD = 1098,23 \text{ }^\circ\text{F}$$

BALANCE DE CALOR

$$m \text{ Gases} \times C \text{ Gases} \times \Delta T \text{ Gases} = m \text{ H}_2\text{O} \times C \text{ H}_2\text{O} \times \Delta T \text{ H}_2\text{O}$$

$$1122,241 \frac{Lb}{hr} * 0.24 \frac{BTU}{Lb^{\circ}F} * (21.92 - 572)^{\circ}F = mH_2O * 1.05 \frac{BTU}{Lb^{\circ}F} (110 - 86)^{\circ}F$$

$$mH_2O = 17314,575 \frac{Lb}{hr}$$

Coraza, Fluido frío, Agua

$$a_s = DI \times C' \times B / 144 \text{ Pt}$$

$$C' = Pt - DE = (1-3/4) \text{ in}$$

$$C' = 0.25 \text{ in}$$

$$B = 5 \text{ in}$$

$$a_s = \frac{8 \text{ in} \times 0.25 \text{ in} \times 5 \text{ in}}{144 (1 \text{ in})} \Rightarrow a_s = 6.944 \times 10^{-2} \text{ Ft}^2$$

$$Gs = \frac{mH_2O}{a_s} \Rightarrow Gs = \frac{17314,6 \text{ Lb/hr}}{6.944 \times 10^{-2} \text{ Ft}^2} \Rightarrow Gs = 249346.2 \frac{Lb}{hr \text{ Ft}^2}$$

De la figura 14 Kern (ver anexo)  $T = 98^{\circ}F$ , para agua  $\mu = 0.75 \text{ cp}$

$$\mu = 2.42 \times 0.75 \text{ cp}$$

$$\mu = 1.815 \frac{Lb}{F \text{ thr}}$$

De la figura 28 Kern (ver anexo)

$$De = 0.73 \text{ in}$$

$$De = 6.083 \times 10^{-2} \text{ Ft}$$

$$\text{Res} = \frac{DeGs}{m} = \frac{6.083 \times 10^{-2} Ft \times 249346,2 \frac{Lb}{hr Ft^2}}{1.815 \frac{Lb}{Fthr}}$$

$$\text{Res} = 8494.25$$

De la fig 24 Kern (ver anexo) con Res = 8494,25; JH =50

$$\text{De la fig 2 Kern (ver anexo) } T_a = 98^\circ F ; C = 1.05 \frac{BTU}{Lb^\circ F}$$

$$\text{De la tabla 2 Kern (ver anexo) } T_a = 98^\circ F, K = 0.3613 \frac{BTU}{Ft^2 hr (\circ F / Ft)}$$

$$\left( \frac{Cm}{K} \right)^{\frac{1}{3}} = \left( \frac{1.05 \frac{BTU}{lb^\circ F} \times 1.815 \frac{Lb}{Fthr}}{0.3613 \frac{BTU}{(Ft^2 hr)(\circ F / Ft)}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\left( \frac{Cm}{K} \right)^{\frac{1}{3}} = 1.7407$$

$$h_o = JH \frac{K}{De} \left( \frac{Cm}{K} \right)^{\frac{1}{3}} \left( \frac{m}{mW} \right)^{0.14}$$

$$h_o = 50 * \frac{0.3613}{6.083 \times 10^{-2}} * (1.7407) * 1$$

$$h_o = 516.94 \frac{BTU}{Ft^2 hr^\circ F}$$

Tubos, fluido caliente, gases

De la tabla 10 Kern (ver anexo) DE = 3 / 4 in, BWG =14

$$a't = 0.268 \text{ in}^2$$

$$at = \frac{Nta't}{144n} = \frac{30 \times 0.268 \text{ in}^2}{144(2)}$$

$$at = 2.792 \times 10^{-2} \text{ Ft}^2$$

$$Gt = \frac{mGases}{a_t}$$

$$Gt = \frac{1122.241 \frac{lb}{hr}}{2.792 \times 10^{-2} \text{ Ft}^2}$$

$$Gt = 40199,67 \frac{Lb}{hrFt^2}$$

$$A \text{ ta} = 1382^\circ\text{F} \quad \mu = 0.0434573 \text{ cp}$$

$$\mu = 2.42 \times 0.0434573 \text{ cp}$$

$$\mu = 0.1051 \text{ lb} / \text{Fthr}$$

De la tabla 10 Kern (ver anexo) DE=3/4 in; BWG =14

$$DI = 0.584 \text{ in}$$

$$D = 4.86 \times 10^{-2} \text{ Ft}$$

$$\text{Ret} = \frac{DGt}{m} = \frac{4.86 \times 10^{-2} \text{ Ft} \times 40199,67 \frac{Lb}{hrFt^2}}{0.1051 \frac{Lb}{Fthr}}$$

$$\left(\frac{Cm}{K}\right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{0.24 \frac{BTU}{Lb^{\circ}F} \times 0.1051 \frac{Lb}{Fthr}}{2.6487 \times 10^{-2} \frac{BTU}{(hrFt^2)(^{\circ}F / Ft)}}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\left(\frac{Cm}{K}\right)^{\frac{1}{3}} = 0.9838$$

$$hi = JH \frac{K}{D} \left(\frac{Cm}{K}\right)^{\frac{1}{3}} ft$$

$$hi = 79 * \frac{2.648 \times 10^{-2}}{4.86 \times 10^{-2}} * 0.9838 * 1$$

$$hi = 42.35 \frac{BTU}{Ft^2 hr^{\circ}F}$$

$$hio = hi \frac{DI}{DE}$$

$$hio = 42.35 \frac{BTU}{Ft^2 hr^{\circ}F} * \frac{0.584in}{0.75in}$$

$$Hio = 32.97 \frac{BTU}{Ft^2 hr^{\circ}F}$$

$$Uc = \frac{hioho}{hio + ho} = \frac{32.97(516.94)}{32.17 + 516.24}$$

$$Uc = 30.99 \frac{BTU}{Ft^2 Hr^{\circ}F}$$

$$Q = Uc * A * MLTD$$

$$A = 30 * 8Ft * 0.1693Ft$$

$$A = 40.632Ft^2$$

$$436327.3 \frac{BTU}{Hr} = U_D * 40.632Ft^2 * 1098.23^{\circ}F$$

$$U_D = 9.77 \frac{BTU}{Ft^2 hr^{\circ}F}$$

De la figura 29 Kern (ver anexo) con

$$Ret = 18614.5$$

$$JH = 79$$

$$A ta = 1382^{\circ}F$$

$$C = 0.24$$

$$\frac{BTU}{Lb^{\circ}F}; K = 2.6487 \times 10^{-2} \frac{BTU}{(hrFt^2)(^{\circ}F / Ft)}$$

$$Rd = \frac{U_c - U_D}{U_c U_D}$$

$$Rd = \frac{30.99 - 9.77}{30.99(9.77)}$$

$$Rd = 0.07$$

$$Rd_{requerido} = 0.003$$

Caida de presión en los tubos

$$Ret = 18614.5$$

De la fig. 26 de Kern (ver anexo) con Ret

$$f = 0.0023$$

$$PM = \rho RT$$

$$(1.1 \text{ atm}) \left(27.77 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}\right) = r_1 * 0.0821 \frac{\text{ltrAtm}}{\text{mol}^\circ k} \times 1473^\circ k$$

$$\rho_1 = 0.2525 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

$$\rho_1 = 1.57 \times 10^{-2} \text{ Lb} / \text{Ft}^3$$

$$(1 \text{ atm}) (27.77 \text{ gr} / \text{mol}) = \rho_2 * 0.082 \frac{\text{ltrAtm}}{\text{mol}^\circ K} \times 573^\circ K$$

$$\rho_2 = 0.5903 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

$$\rho_2 = 3.68 \times 10^{-2} \text{ lb/Ft}^3$$

$$r = \frac{r_1 + r_2}{2}$$

$$r = 2.6310 \times 10^{-2} \frac{lb}{ft^3}$$

$$\rho_{\text{aire}} = 0.0752 \frac{lb}{ft^3}$$

$$S_{\text{gases}} = 0.3498$$

$$\Delta p_t = \frac{f G t^2 L n}{5.22 \times 10^{10} D_s f t} = \frac{0.0023 (40199.67)^2 \times 8 \times 2}{5.22 \times 10^{10} (4.86 \times 10^{-2}) (0.3498) (1)}$$

$$\Delta p_t = 6.70 \times 10^{-2} \frac{lb}{in^2}$$

$$\Delta p_t = 0 (\text{despreciables})$$

Como en el calculo del ventilador se asumió una caída de presión de 1.46 psi = 0.1 atm, se calcula la potencia del ventilador.

$$P_1 (\text{succión}) = 1 \text{ atm} - 30 \text{ cm H}_2\text{O} \Rightarrow P_1 = 0.9709 \text{ atm}$$

$$P_2 (\text{descarga}) = 1 \text{ atm} + 4.559 \times 10^{-3} \text{ atm}$$

$$P_2 = 1.00455 \text{ atm}$$

$$PV = nRT,$$

$$(1.00455 \text{ atm}) V = 37597,98 \text{ mol} \times 0.0821 \frac{\text{ltrAtm}}{\text{mol}^\circ\text{k}} \times 1473^\circ\text{k}$$

$$V = 4526253.336 \text{ ltr}$$

$$V = 4526.253 \text{ m}^3$$

$$Q = 4526.253 \text{ m}^3 \times \frac{1}{120 \text{ kg}} \times 60 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ sg}}$$

$$Q = 0.6286 \frac{\text{m}^3}{\text{sg}}$$

$$PM = \rho RT$$

$$0.9709 \text{ atm} \times 27.77 \frac{\text{gr}}{\text{mol}} = r \times 0.0821 \frac{\text{ltr atm}}{\text{mol}^\circ\text{l}} \times 1473^\circ\text{k}$$

$$\rho = 0.2229 \text{ gr / ltr}$$

$$\rho = 0.2229 \text{ kg / m}^3$$

$$\rho_1 (\text{succión}) = 0.2229 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$r_2 = r_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)$$

$$r_2 = 0.2229 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \left( \frac{1.00455}{0.9709} \right)$$

$$\rho_2 = 0.2306 \text{ kg / m}^3$$

$$r = \frac{r_1 + r_2}{2}$$

$$r = \frac{0.2229 + 0.2306 \text{ Kg}}{2} \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$r = 0.22675 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Flujo masico =m

$$m = Q \rho = 0.6286 \frac{\text{m}^3}{\text{sg}} \times 0.22675 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m = 0.1425 \text{ Kg /seg}$$

$$\frac{P_2 - P_1}{r} = \frac{(101786.028 - 98376.44) \frac{N}{m^2} \times \frac{0.102 \text{ kgf}}{1N}}{0.22675 \frac{\text{kg}}{m^3}}$$

$$\frac{P_2 - P_1}{r} = 1533.75 \frac{\text{kgf m}}{\text{Kg}}$$

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2gc} = \frac{30^2 - 15^2}{2(9.81)} = 34.41 \frac{\text{kgf m}}{\text{Kg}}$$

$$W = \frac{1}{n} \left( \frac{P_2 - P_1}{r} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g_c} \right)$$

$$W = \frac{1}{0.65} (1533.75 + 34.41) \frac{\text{Kg f m}}{\text{Kg}}$$

$$W = 2412.55 \frac{\text{kgf m}}{\text{Kg}}$$

$$Pb = \frac{mW}{75} = \frac{0.1425 \frac{\text{kg}}{\text{sg}} * 2412.55 \frac{\text{kgf m}}{\text{kg}}}{75}$$

$$Pb = 4.583 \text{ hp}$$

### CALCULO DE LA CHIMENEA

Como los gases salen a una temperatura de  $300^\circ\text{C} = 573^\circ\text{K}$ , después de pasar por el intercambiador de calor, no es un factor fundamental el tiro de la chimenea, sino, la capacidad de dispersión de gases. Por lo tanto no es necesario calcular la

altura de la chimenea, sino el diámetro, la altura se puede tomar de acuerdo a la legislación nacional (ver anexo).

$$A = \frac{Q}{KV}$$

Q = Caudal de gases, m<sup>3</sup> / sg

K = coeficiente de velocidad 0.3 a 0.5

V = velocidad teórica de gases, en m / seg

A = área de sección transversal, en m<sup>2</sup>

$$PV = nRT$$

$$1 \text{ Atm } V = 37597,98 \text{ mol} \times 0.0821 \frac{\text{lratm}}{\text{mol}^\circ K} 573^\circ K$$

$$V = 1768733,052 \text{ ltr}$$

$$V = 1768,733 \text{ m}^3$$

$$Q = 1768,733 \text{ m}^3 \times \frac{1}{120 \text{ kg}} \times 60 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ sg}} \Rightarrow Q = 0.2456 \frac{\text{m}^3}{\text{sg}}$$

Se recomienda una velocidad de 6 m/sg para los gases

$$A = \frac{Q}{KV}$$

$$A = \frac{0.2456 \text{ m}^3 / \text{sg}}{0.4(6 \text{ m} / \text{sg})}$$

$$A = 0.1023 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{\rho D^2}{4}$$

$$0.1023 \text{ m}^2 = \frac{\rho D^2}{4}$$

$$D = 0.361 \text{ m}$$

## **10. EVALUACIÓN ECONÓMICA**

Para la evaluación económica de este proyecto, el criterio decisorio a utilizar será la minimización de costos, teniendo en cuenta que las alternativas prestan el mismo servicio y las vidas de servicio se pueden igualar.

En el caso de mutuamente excluyentes, lo mas normal en la situación de igual servicio, a alternativa a escoger será la que presente menor costo (presente, anual o futuro) equivalente. Recordemos que para este calculo debemos usar la tasa promedio de oportunidad ( tasa mínima de retorno).

### **10.1 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS**

Alternativa 1: construcción de horno crematorio para desechos orgánicos

Alternativa 2: contratar con empresa dedicada al transporte y tratamiento de los desechos orgánicos.

Tasa mínima de retorno = DTF + 4%

Tasa mínima de retorno  $\approx$  12%

### 10.1.1 Costos Alternativa 1

Operador

Salario Integral      450.000

Energía

Consumo mensual = 40 Kw/h \* 6 Horas \* 10 días = 2400 Kw

La tarifa industrial en el municipio de Maicao \$ 130 Kw/h

Total valor energía      \$312.000

Gas :

Consumo jornada mensual de incineración (trabaja 6 horas, cada 3 días) = 930 m<sup>3</sup>

Valor del m<sup>3</sup> = \$ 300

Total valor gas = \$ 279.000

Aseo:

Cuota mensual      \$ 1.000.000

% residuos biológicos    60% = 1.000.000 X 0.6 = \$ 600.000

Mantenimiento      \$ 130.000

Total Costos \$ 1.321.450 \* 12 = \$ 15.857.400

### 10.1.2 Costos Alternativa 2

Cantidad de residuos a incinerar 120 Kg/ día

Valor Kg incinerado \$3000

Valor de un mes de incineración 120 Kg/ día \* \$3000 \* 30 días = \$ 10.800.000

Valor anual de incineración = \$10.800.000 \* 12 = \$ 129.600.000

### 10.1.3 Inversión Inicial

Para la alternativa 1 se realizó un análisis de precio unitario (Ver anexo D), para determinar la inversión inicial la cual es \$ 29.189.575.

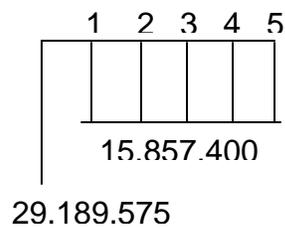
**Tabla 23. Análisis de alternativas**

	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>
<b>Inversión inicial (Año 0) (\$)</b>	29189575	
<b>Costos anuales de operación (\$)</b>	15857400	129600000
<b>Vida de servicio ( Años)</b>	5	5

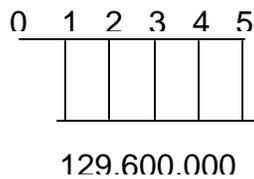
### 10.1.4 Selección de la mejor alternativa

Los diagramas de flujo para cada alternativa son:

#### ALTERNATIVA 1



#### ALTERNATIVA 2



$$\text{CPE 1} = 29.189.575 + 15.857.400(P/A, 12, 5)$$

$$\text{CPE 1} = 86.352.013$$

$$\text{CPE 2} = 129.600.000 (P/A, 12, 5)$$

$$\text{CPE 2} = 467.179.488$$

$$\text{CAE 1} = 29.189.575 \text{ (A/P,12,5)} + 15.857.400$$

$$\text{CAE 1} = 23.954.863.64$$

$$\text{CAE 2} = 129.600.000$$

Se observa que tanto el CPE 1, como el CAE 1 son menores, lo que indica que es viable con respecto a la alternativa 2.

Haciendo un análisis de beneficios costos, la alternativa 1 nos brinda la posibilidad de la prestación de este servicio a otras entidades, generando de esta forma ingresos a la Clínica.

## CONCLUSIONES

- Se cuantifico el volumen de desechos orgánicos generados por la Clínica SAN JORGE.
- Entre los diferentes sistemas de incineración, se selecciono el Horno de parrillas como mejor alternativa, por su facilidad de construcción y operación.
- Se escogió como mejor opción de ubicación para el equipo, la Clínica SAN JORGE, debido a que representa menores costos de operación.
- Se escogió como sistema de control de partículas el ciclón teniendo en cuenta las siguientes ventajas, bajo costo de construcción, es un equipo relativamente sencillo con pocos problemas de mantenimiento.
- Para el control de los otros contaminantes, se selecciono, la separación en origen y los controles de combustión.

- Para la disposición final de la ceniza, se sugirió a la Clínica SAN JORGE la comercialización de esta.
- Se evaluó económicamente el proyecto.

## RECOMENDACIONES

- En la primera operación del incinerador los procesos de calentamiento deben ser lentos, con aumentos de temperatura pausados hasta obtener la temperatura de trabajo, obteniendo así una dilatación homogénea en el refractario.
- Antes de cada operación se debe limpiar la cámara de ignición, mezcla, y decantamiento de la operación anterior, limpie parrillas, puertas y ceniceros.
- Nunca inicie operación con residuos de otras operaciones.
- Nunca incinere productos líquidos, gaseosos o productos químicos.
- Clasificar el tipo de residuo a incinerar.
- Los elementos cuyos componentes sean metálicos o de vidrio, deben ser almacenados a parte, ya que su incineración puede deteriorar el equipo y tener peligro potencial para el operario.

**BIBLIOGRAFÍA**

**KERN**, Donald. Proceso de Transferencia de Calor. México: Mac Graw Hill. 1974. Capitulo 5.

**MACABES**, Smith. Operaciones básicas de Ingeniería Química. México: Reverte S.A. Pagina 228.

**MARKS**, Lionel S. Manual del ingeniero Mecánico: Mac Graw Hill. Tomo I,II.

**PERRY**. Manual del Ingeniero Químico. México: Mac Graw Hill. Tomo V

**TCHBANOGLIOUS**, George, Gestión Integral de Residuos Sólidos. España : Mac Graw Hill, 1994. Capitulo 4

**VAN NESS**. Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química. México: Mac Graw Hill, 1989. Capitulo 5

**VARELA**, Rodrigo. Evaluación económica de inversiones. Colombia: Norma, 1993. Pagina 140.

































