



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA



DISEÑO TERMODINÁMICO Y MECÁNICO
DE UN INCINERADOR CREMATORIO
DE CUERPOS HUMANOS

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUÍMICO
P R E S E N T A:
MÓNICA ORTÍZ CÓRDOVA

ASESOR: I.Q. CUAUHTÉMOC LAGOS CHÁVEZ.



MÉXICO, D. F.

SEPTIEMBRE DEL 2002.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PAGINACION DISCONTINUA



**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA**

OFICIO: FESZ/JCIQ/069/02

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNA: ORTIZ CORDOVA MONICA
P r e s e n t e.

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

Presidente:	Dr. Roberto Mendoza Serna
Vocal:	I.Q. Cuauhtémoc Lagos Chávez
Secretario:	I.Q. Rafael Sánchez Dirzo
Suplente:	I.Q. Guillermo Gaspar Grimaldo
Suplente:	I.Q. Balbina Patricia García Aguilar

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A t e n t a m e n t e
“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”
México, D. F., 2 de Agosto de 2002

EL JEFE DE LA CARRERA

M. en C. ANDRES AQUINO CANCHOLA

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
SECRETARÍA TÉCNICA

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

GRACIAS

A Dios, por ponerme en este camino y seguir conmigo.

A mi Papá, Jesús y a mi Mamá, Ma. Guadalupe, por la vida, el enorme apoyo recibido desde siempre, todo el amor imaginable y la disciplina que me enseñaron a seguir, así como su ejemplo de trabajo y esfuerzo continuo.

A mis hermanos, Olivia, Ricardo y Javier, por ser verdaderos amigos en las buenas y en las malas, por compartir más que una casa, un hogar; por saber escuchar pero además por no quedarse callados.

A todos mis profesores, por la atención de todos aquellos que saben impartir y compartir sus conocimientos y que contribuyeron en un enorme porcentaje a mi formación profesional.

A mis abuelos, tíos, primos y amigos, a todos aquellos que en alguna medida han formado parte de mi vida y llevo en el corazón, estando o no presentes físicamente.

A Iván, por ser el novio y amigo que ha estado presente en todo momento de manera incondicional, apoyándome en mis proyectos.

A CHyTI, SA de CV, especialmente al Ing. Jorge Rojas, por permitir mi desarrollo como Ingeniero en su compañía y otorgarme toda la confianza.

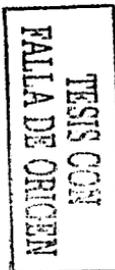
GRACIAS

Mónica.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Índice de Contenido.

	<i>Página.</i>
Introducción.	V
Capítulo 1. Fundamentos del Proceso de Combustión e Incineración.	1
1.1 Definiciones.	1
1.2 Química de la combustión.	3
1.2.1 Mecanismo de combustión de gases.	4
1.2.2 Mecanismo de combustión de líquidos.	5
1.3 Reacción de combustión del gas natural.	6
1.4 Luminosidad, enfriamiento y características de la flama.	8
1.5 Relación aire – combustible.	11
1.6 Balance de energía y eficiencia en hornos.	12
1.7 Incineración.	16
1.8 Clasificación de los residuos municipales.	17
Capítulo 2. Generalidades sobre incineradores.	19
2.1. Tipos de incineradores.	19
2.2. Descripción del proceso de combustión en un incinerador de cámara múltiple.	23
2.3. Comparación de los tipos generales de incineradores de cámara múltiple.	23
2.4. Principios de combustión aplicables al proceso de incineración.	24
2.5. Factores de Diseño de incineradores de cámara múltiple.	25
2.6. Preceptos o Reglas de Diseño para Incineradores de Residuos Sólidos.	29
2.7 Ejemplos de incineradores.	30
2.7.1 Incineradores de basura en general.	30
2.7.2 Incineradores móviles.	34
2.7.3 Incineradores de residuos de madera.	36
2.7.4. Incineradores cargados por la chimenea.	40
2.7.5 Incineradores de residuos patológicos.	42
Capítulo 3 Reglamentación sobre incineración de residuos sólidos.	47
3.1. Sistema Regulatorio Mexicano.	47
3.2 Norma Oficial Mexicana NOM-043-ECOL-1993	49
3.3 Norma Oficial Mexicana NOM-085-ECOL-1994	50
3.4 Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993	61
3.5 Norma Oficial Mexicana NOM-87-ECOL-1995.	62



	<i>Página.</i>	
3.6	Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-98-ECOL-2000.	65
3.7	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.	69
Capítulo 4	Criterios de Diseño Termodinámico.	73
4.1	Estándares de Diseño Termodinámico.	73
4.2	Especificaciones de Diseño.	77
4.2.1	Datos de operación.	77
4.2.2	Composición del residuo a incinerar.	77
4.3	Aire de oxidación requerido por los desechos.	79
4.4	Evaluación del poder calorífico de los desechos.	81
4.5	Calor de combustión de los desechos.	83
4.6	Requerimiento de calor.	83
4.7	Calor Neto.	84
4.8	Temperatura de salida de gases de combustión.	85
4.8.1	Análisis del combustible.	85
4.8.2	Productos de combustión de los desechos.	86
4.8.3	Total de gases por combustión de desechos y gas LP.	87
4.8.4	Balance de masa en base átomo.	87
4.8.5	Cálculo de la temperatura de salida de los productos de combustión con el quemador operando a su máxima capacidad.	87
4.8.6	Cálculo de la temperatura de salida de los productos de combustión con el quemador apagado	96
4.9.	Resumen de Condiciones y Resultados	97
Capítulo 5	Criterios de Diseño Mecánico.	101
5.1	Características de diseño de la cámara de ignición.	101
5.2	Zona de combustión secundaria.	104
5.3	Diseño de la chimenea.	105
5.4	Requerimientos de tubería.	105
5.5	Configuración de Diseño del Incinerador	105
5.6	Estándares de construcción.	111
5.7	Operación.	111
5.8	Aplicación de los criterios de diseño de incineradores de residuos patológicos, para el diseño de un incinerador crematorio.	112
5.8.1	Cámara de ignición.	112
5.8.2	Puertos de aire.	113
5.8.3	Puerto de flama.	114
5.8.4	Cámara de Mezclado.	115

	<i>Página.</i>
5.8.5	Cámara de Combustión o Asentamiento. 116
5.8.6	Cámara por debajo del hogar. 118
5.8.7	Puertos de salida. 121
5.8.8	Redimensionamiento de la Cámara de Mezclado. 123
5.8.9	Redimensionamiento de la Cámara de Combustión o Asentamiento. 123
5.8.10	Redimensionamiento de la Cámara por debajo del hogar. 125
5.8.11	Redimensionamiento de puertos de salida. 125
5.8.12	Ducto de salida del incinerador (Chimenea). 128
5.8.13	Material Refractario y Aislamiento. 131
5.8.14	Especificación y Posición de Quemadores y Puertos de Aire. 132
5.8.15	Puerta del Incinerador Crematorio. 135
5.8.16	Ducto de salida de gases del incinerador crematorio. 136
5.9	Sistema de Combustión: Elementos que lo conforman y Selección. 136
5.10	Sistema de Protección contra falla de flama. 138
5.11	Sistema de Control. 139
5.12	Descripción de la operación de los elementos. 140
5.13	Sistema Neumático. 143
	Conclusiones 155
	Glosario 157
	Apéndice 163
	Sección A 163
	Sección B 185
	Bibliografía 191

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Introducción.

La disposición de todo tipo de desechos y restos es uno de los problemas más complejos que enfrenta la sociedad desde hace ya un buen tiempo. En el pasado, las instalaciones comerciales e industriales usaban una especie de incinerador de una sola cámara para quemar muchas toneladas de desechos diariamente, sin algún tipo de control de esta actividad; lo que redundó en que por lo menos desde hace 45 años, las grandes áreas urbanas alrededor del mundo experimentarían un drástico incremento en la contaminación de su atmósfera, lo que a su vez generó la necesidad de establecer una rígida regulación de los criterios de funcionamiento así como de los mínimos requerimientos de diseño de todos los tipos de incineradores, con el objetivo de mantener bajo ciertos límites las emisiones que producen tales equipos.

Los incineradores crematorios no escapan a esta problemática, siendo necesario el planteamiento de los criterios de diseño termodinámico y mecánico que no sólo permitan la operación eficiente del incinerador sino que éste descargue el mínimo de contaminantes al aire. La adecuación del diseño, los métodos apropiados de construcción y la calidad de los materiales son los factores a tomar en cuenta para conseguir que un incinerador satisfaga los requerimientos de control de contaminación del aire y cumpla con la vida de servicio promedio esperada.

El diseño termodinámico y mecánico de un incinerador crematorio implica el manejo y la aplicación de conceptos de química, fisicoquímica, matemáticas y operaciones unitarias como transferencia de calor y flujo de fluidos principalmente, además de la realización de balances de materia y energía. Todo ello con el fin de establecer las características que debe tener el equipo en cuanto a materiales, dimensiones, controles y accesorios, para que el equipo opere en forma óptima desde los puntos de vista de eficiencia del incinerador, ahorro de energía y emisiones a la atmósfera.

En este trabajo de tesis se consideran todos los factores requeridos, con el propósito de diseñar, tanto termodinámica como mecánicamente, un incinerador crematorio de cuerpos humanos que opere de forma óptima desde el punto de vista funcional y de emisiones a la atmósfera, ya que como se mencionó anteriormente, debido al problema referente a los altos niveles de contaminación del aire que se alcanzan en las grandes áreas urbanas y la concientización que se ha generado en relación a este problema, el diseño de cualquier equipo en estos días, debe de contemplar el cumplimiento de las normas oficiales emitidas al respecto, por lo que los objetivos que se persiguen con la elaboración de esta tesis son:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Establecer los criterios de diseño termodinámico que permitan la concepción de un incinerador crematorio que opere eficientemente y con el máximo ahorro de energía posible.
- Establecer los criterios de diseño mecánico que permitan la construcción de un incinerador crematorio funcional.
- Establecer los criterios de diseño que permitan el debido control de emisiones contaminantes para que con la operación del incinerador crematorio se generen el mínimo de contaminantes a la atmósfera.

Con el fin de cumplir con los objetivos señalados, el primer capítulo aborda los aspectos teóricos de las operaciones de combustión e incineración, el siguiente presenta las generalidades de los equipos incineradores que existen para diferentes tipos de residuos. El tercer capítulo es acerca de la reglamentación existente al respecto debido a que actualmente existe todo un marco regulatorio de las operaciones que se considera generan algún tipo de contaminación, como es el caso de la incineración de desechos sólidos, cuando no es controlada de forma adecuada.

Finalmente en los capítulos 4 y 5 se presentan de manera extensa los criterios de diseño termodinámico y mecánico de los incineradores de residuos patológicos y la forma en que se aplican en el diseño de un incinerador crematorio de restos humanos, con el fin de que éste cuente con las características óptimas de operación con la mínima emisión de contaminantes del aire.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo I

FUNDAMENTOS DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN E INCINERACIÓN

1.1 Definiciones.

El proceso de *combustión* se define como la oxidación rápida de un combustible que provoca la liberación de calor útil y la producción de una flama visible. Un combustible se define como cualquier sustancia, sólida, líquida o gaseosa, que puede encenderse o quemarse fácilmente para producir calor, luz u otra forma de energía útil. Los procesos industriales se interesan en la combustión para producir calor. El carbono (C) y el hidrógeno (H) son dos elementos comunes en los combustibles utilizados. Estos elementos tienen una gran afinidad por el oxígeno (O₂) y son quemados fácilmente. El carbono se combina con el oxígeno, produciendo dióxido de carbono (CO₂) y calor según la siguiente reacción:

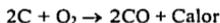


El hidrógeno se combina con el oxígeno formando vapor de agua y produciendo calor de acuerdo a la siguiente reacción:



Afortunadamente para la industria de procesos térmicos, estos elementos, tanto el carbono como el hidrógeno existen en abundancia y en una gran variedad de formas. Las sustancias compuestas por la combinación de tales elementos se les conoce como hidrocarburos. Ejemplos de éstos son el gas natural, gas LP, diesel, combustóleo, etc.

Los materiales combustibles se combinan con el oxígeno en proporciones fijas y definidas. La ley de Avogadro establece que volúmenes iguales de gas, bajo condiciones idénticas de presión y temperatura, contienen el mismo número de moléculas. Por lo tanto, un pie cúbico de carbono en forma gaseosa y un pie cúbico de oxígeno se combinan para producir CO₂ + Calor, y dos pies cúbicos de hidrógeno se combinan con un pie cúbico de oxígeno para formar 2H₂O + Calor. Cuando son utilizadas las proporciones exactas de oxígeno y combustible se trata de una *mezcla perfecta*. Si es utilizado demasiado combustible en relación al oxígeno disponible, la reacción será incompleta. Para el caso de carbono:



Esta reacción, en lugar de dar lugar a dióxido de carbono inofensivo, produce monóxido de carbono venenoso y una menor cantidad de calor. Se trata de una *combustión incompleta* en la que a la mezcla reaccionante se le conoce como *rica*. Los gases resultantes forman una atmósfera reductora (reduce los óxidos de metal a metal básico). Es deseable en algunas operaciones de tratamiento térmico, usar una atmósfera reductora debido a que no

TESIS CON
 FALTA DE ORIGEN

se oxidan los metales como el acero, pero debe tomarse en cuenta que los gases resultantes son venenosos y deben evitarse en los demás casos.

Cuando se suministra oxígeno en exceso, se trata de una mezcla reaccionante *pobre*. La combustión es completa, ya que todo el carbono es oxidado:



La cantidad de calor que se libera cuando reacciona una mezcla pobre, es igual a la liberada por la combustión perfecta, pero tanto la temperatura de flama como el calor disponible son menores debido a que el oxígeno absorbe parte del calor. Los productos de combustión son oxidantes (producen óxidos sobre las superficies metálicas).

Los diversos combustibles tienen diferentes características, dependiendo de las cantidades de carbono e hidrógeno presentes en la molécula individual. Una de ellas se refiere al *poder calorífico* del combustible, el cual se define como la cantidad de calor liberada durante la combustión perfecta de una cantidad específica de combustible. Se expresa en BTU/gal, BTU/lb o BTU/pie³, en el sistema inglés, en kcal/lt, kcal/kg o kcal/m³, en el sistema métrico o en J/kg en el Sistema Internacional.

Un BTU es la cantidad de calor requerida para incrementar la temperatura de una libra de agua en un grado Fahrenheit. Una kilocaloría (kcal) es la cantidad de calor requerida para incrementar la temperatura de un kilogramo de agua en un grado Celsius.

Existen dos valores diferentes del poder calorífico, el alto y el bajo. El *poder calorífico alto* es la cantidad *total* de calor liberada durante la combustión perfecta de una cantidad específica de combustible. El *poder calorífico bajo* es el poder calorífico alto menos el calor latente de vaporización del vapor de agua formado como producto de la combustión del hidrógeno. Para un combustible que no contenga hidrógeno, el poder calorífico alto es igual al poder calorífico bajo.

Para cálculos y selección de equipo de combustión es más correcto y exacto, utilizar el poder bajo para determinar el calor disponible, ya que el calor latente del vapor de agua no se libera durante el proceso de calentamiento, sino hasta que los gases de combustión son enfriados a una temperatura donde el vapor de agua se condensa y esto ocurre normalmente en la chimenea o fuera de ésta.

¹ British Thermal Units.

1.2 Química de la Combustión.

El término *mecanismo de combustión* se refiere a las reacciones químicas mediante las cuales se obtienen los productos finales de combustión, a partir de una mezcla combustible y oxígeno. En la actualidad, la teoría más aceptada que explica los mecanismos de combustión es la *Teoría de la Reacción en Cadena*. Esta teoría explica que una reacción compleja se realiza mediante una serie de reacciones simples en las cuales se forman productos intermedios (eslabones), los cuales se forman en una reacción y luego se consumen en la siguiente, dando lugar a otros, hasta que se forman los productos finales.

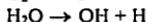
Los eslabones o productos intermedios suelen ser:

- Átomos libres de gases diatómicos.
- Radicales libres (OH, CHO, CH, etc.)
- Compuestos orgánicos (formaldehído, alcoholes, etc.).

Los eslabones pueden existir únicamente una fracción de segundo, o sea que billones de ellos se forman y se destruyen simultáneamente en el transcurso de la reacción en cadena, la cual se divide en tres fases:

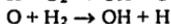
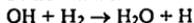
- Fase de iniciación.

Se producen los eslabones:



- Fase de propagación.

Se llevan a cabo reacciones intermedias que producen o multiplican los eslabones.



- Fase de terminación.

Se inhibe la formación de eslabones hasta que las reacciones terminan. Los factores que inhiben la formación de eslabones pueden ser superficies frías, producción de productos finales, bajas presiones de componentes y bajas temperaturas.

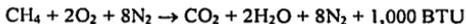
Asumiendo que el gas natural es 100% metano, la reacción con el oxígeno es:



Tanto el metano como el oxígeno son gases. De acuerdo a esta reacción, un pie cúbico de metano más dos pies cúbicos de oxígeno conforman una mezcla perfecta para la combustión. En el campo industrial, el oxígeno puro es raramente utilizado debido a su alto costo y falta de disponibilidad. El aire sin embargo, se encuentra disponible en cantidad ilimitada por lo que es utilizado como la fuente de oxígeno de la combustión industrial.

Como un parámetro de diseño, es razonablemente preciso, asumir que el aire se compone en un 80% por nitrógeno y un 20% por oxígeno en volumen.

La reacción de combustión de gas natural, (metano) con el aire es:



En esta ecuación, un pie cúbico de metano se combina con 10 pies cúbicos de aire para producir 1,000 BTU en forma de calor. El nitrógeno es un gas inerte y las moléculas de nitrógeno no participan en la reacción, sin embargo, absorben calor y disminuyen la temperatura de flama. En una combustión perfecta, si el metano se quema con oxígeno únicamente, la temperatura de la flama se aproximaría a los 5200° F, mientras que usando aire, la temperatura de flama es de alrededor de 3500° F.

Un pie cúbico de propano reacciona con 25 pies cúbicos de aire para producir una combustión perfecta. Los productos de combustión son dióxido de carbono, vapor de agua y 2,500 BTU. La combustión perfecta de un pie cúbico de butano, requiere 32 pies cúbicos de aire. Los productos de combustión son dióxido de carbono, vapor de agua, y 3,200 BTU. El hecho importante es que por cada pie cúbico de aire consumido en la reacción con el combustible, 100 BTU son liberados, sin considerar el combustible que está siendo consumido también. Dentro de los límites razonables, esto se cumple para todos los combustibles ya sean sólidos, líquidos o gases.

1.2.1 Mecanismo de combustión de gases.

Las moléculas de gas están en constante movimiento, en trayectorias rectas. La velocidad con la que se mueven se encuentra en función de la temperatura. A mayor temperatura, las moléculas se mueven más rápidamente y a la inversa, a una menor temperatura, su movimiento es más lento.

Existe un gran número de moléculas en cualquier flujo gaseoso y durante su movimiento aleatorio, chocan unas con otras, rebotan y cambian de dirección. Con un incremento en la temperatura y en los niveles de energía del gas, estas colisiones se vuelven más frecuentes y de mayor impacto.

En una mezcla de oxígeno y metano (gas natural) una molécula de metano podría chocar con dos moléculas de oxígeno, incluso a temperatura ambiente. Sin embargo, la fuerza del impacto podría no ser la suficiente para romper los enlaces entre el hidrógeno y el carbono o los dobles enlaces de la molécula de oxígeno, de forma que el oxígeno no se enlazaría al carbono o al hidrógeno. Conforme la temperatura de las moléculas aumenta, la velocidad de las moléculas se incrementa y se libera una mayor cantidad de energía tras el impacto.

A 1200 °F aproximadamente, las moléculas cuentan con velocidad y energía suficientes para que las colisiones ocurran con la fuerza necesaria para romper el doble enlace de la molécula de oxígeno y los enlaces sencillos entre los átomos de hidrógeno y el carbono, en la molécula de metano. En este punto la situación es muy inestable. El carbono

tiene una gran afinidad por el oxígeno y éste por el hidrógeno, de modo que la combustión comienza.

Tan pronto como la combustión toma lugar, se libera calor hacia las proximidades de la colisión y la molécula se encuentra a 5,200 °F aproximadamente. Este calor es radiado a la molécula adyacente y empieza la reacción en cadena. Los 1,200 °F iniciales se alcanzan mediante una antorcha, la flama de un piloto o la chispa eléctrica de un transformador de ignición.

Si el oxígeno es substituido por aire, la reacción en cadena continuará pero el nitrógeno absorberá parte de la energía e impide el progreso de la reacción. Si la proporción de aire se incrementa, se alcanzará un punto en el que la energía requerida para llevar la mezcla a los 1200 °F, es mayor al calor liberado por las moléculas encendidas por la fuente de ignición. En este momento la flama se extingue.

Este punto se conoce como el límite inferior de explosión. A temperatura ambiente el límite inferior de explosión es de aproximadamente 4% de metano en el aire. Existe además un límite superior de 15% de metano, lo cual indica una mezcla demasiado rica para mantener la combustión.

1.2.2 Mecanismo de combustión de líquidos.

Debido a la complejidad de los compuestos orgánicos presentes en los combustibles líquidos, la determinación paso a paso del progreso de la reacción, es mucho más difícil. Cada átomo de carbono consume una molécula de oxígeno mientras que cada dos átomos de hidrógeno requieren un átomo de oxígeno para que se produzca la combustión.

El patrón de colisión en los combustibles líquidos es un tanto cuanto diferente al de los combustibles gaseosos, debido principalmente a los diferentes estados de la materia involucrados. En un combustible gaseoso, las moléculas no están combinadas y son muy susceptibles a colisionarse. En un combustible líquido, las moléculas se encuentran combinadas entre sí y no entran en contacto íntimo con el oxígeno.

El líquido debe ser primero vaporizado a moléculas individuales para que la oxidación a CO_2 y H_2O pueda suceder. La vaporización del líquido se realiza con parte del calor de combustión de las moléculas previamente vaporizadas y de la fuente de ignición. En quemadores industriales se requiere vaporización a alta velocidad. Esto se logra de una mejor manera mediante el rompimiento del líquido en partículas de menor tamaño, lo que se consigue mediante la atomización del combustible líquido con lo que se obtienen gotas de tamaño microscópico con una muy baja relación masa-área superficial.

Cuando las gotas son lo suficientemente pequeñas y la energía se encuentra disponible a partir de la fuente de ignición, se presenta la vaporización a alta velocidad. Si las gotas son demasiado grandes, la vaporización se complica y la combustión se retrasa.

El flujo de combustible vaporizado se encuentra en un estado molecular gaseoso libre, en donde las moléculas se mueven rápidamente como en cualquier gas. A la

temperatura de ignición de aproximadamente 1200° F, la velocidad de impacto de las moléculas de combustible y las moléculas de oxígeno es lo suficientemente alta para romper los enlaces sencillos carbono - hidrógeno y los enlaces dobles de la molécula de oxígeno, produciéndose la combustión.

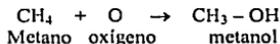
El hidrógeno se combina en primer lugar con el oxígeno, formando vapor de agua, mientras que los átomos de carbono aguardan el oxígeno adicional para oxidarse a CO₂. Durante esta etapa, los átomos de carbono se encuentran en un nivel de temperatura elevado que excede probablemente los 1600° F. A esta temperatura los átomos de carbono son incandescentes y resplandecen con un color amarillo brillante, antes de reaccionar con el aire. Esto es lo que produce las flamas altamente luminosas que presentan la mayoría de los quemadores de combustible.

1.3 Reacción de combustión del gas natural.

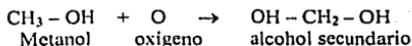
Investigaciones acerca de la reacción de combustión del gas natural, refiriéndose nuevamente como la reacción química entre el metano y el oxígeno, muestran que la reacción pasa a través de muchas etapas intermedias, antes de que la reacción se complete. Los reactivos iniciales y finales y los productos son:



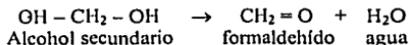
Pero la primera reacción que toma lugar es:



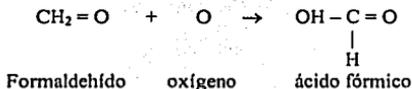
La fuerza de colisión conduce al átomo libre de oxígeno hacia la molécula de metano. La apertura de los enlaces químicos entre los átomos, produce la liberación de la energía, incrementando la temperatura de la molécula. La segunda fase es:



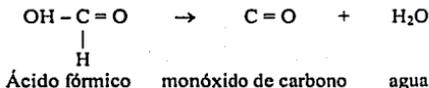
La molécula de alcohol se une a un átomo de oxígeno para formar un alcohol secundario. Este alcohol es muy inestable y la molécula se rompe casi inmediatamente, dando lugar a una molécula de formaldehído y una de agua:



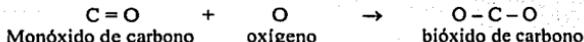
El formaldehído posee una gran afinidad con el oxígeno y cuando otro átomo de oxígeno se le une, se forma un ácido:



Cada paso de la reacción en cadena procede con la consecuente liberación de energía y un constante incremento en el nivel de temperatura. En este estado de alta energía, el ácido fórmico es inestable y se descompone en monóxido de carbono y la segunda molécula de agua:



Finalmente el monóxido de carbono se combina con el último átomo de oxígeno disponible para formar dióxido de carbono y completar la reacción:



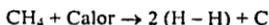
Como ya se mencionó, todas estas reacciones toman lugar a niveles de energía extremadamente altos, se suceden casi instantáneamente y a muy altas temperaturas; la temperatura molecular interna llega a ser de 5000° F.

Las fases de combustión indicadas ocurren con una flama azul característica, cuando el oxígeno es mezclado íntimamente con el gas y se encuentra rápidamente disponible para unirse a la molécula de metano.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.4 Luminosidad, Enfriamiento y Características de la Flama.

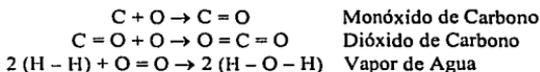
Si al principio de la reacción de combustión no existe oxígeno suficiente, algunas de las moléculas gaseosas arderán y alcanzarán la temperatura de flujo de gas remanente por encima de los 1200 °F rompiéndose sus enlaces. El movimiento a alta velocidad de las moléculas de metano provoca que se colisionen unas con otras, provocando que los átomos de hidrógeno se separen del carbono, ya sea como átomos libres o moléculas.



A estas temperaturas los átomos de carbono son incandescentes e imparten un brillo amarillento a la flama. Algunos quemadores están diseñados para que, ajustando la entrada de aire de combustión, produzcan flamas luminosas, ya que al ser altamente radiantes, aumenta la cantidad de calor transmitido por radiación de la flama hacia el producto o hacia las paredes del horno.

Flamas de gas luminosas tienen aplicación en hornos muy largos, en el que la homogeneidad de temperatura es importante a lo largo del horno. Los quemadores utilizados para tal aplicación, producen flamas luminosas muy largas. Es una característica de las flamas de gas luminosas, el ser flamas muy largas (no se puede obtener una flama corta y luminosa con gas).

Las fases de combustión para las moléculas disociadas se reducen a un proceso de dos pasos. Con la adición de oxígeno:



Si durante la reacción multi-fase, la temperatura de las moléculas disminuye drásticamente debido a causas externas, la reacción cesaría y los reactivos quedarían aislados, en sus distintos estados de formación. Cuando esto ocurre se dice que la flama ha sido *enfriada*. Durante el proceso de combustión, una flama contiene todos los compuestos que reaccionaron parcialmente y al mismo tiempo, en sus diferentes estados de transformación. Si algún medio refrigerante es puesto en contacto con cualquier parte de la flama y provoca la reducción de la temperatura por debajo de los 1200° F, la flama será enfriada y el proceso de combustión inhibido, con lo que se presentarán como productos de la combustión alcoholes, aldehídos, ácidos, monóxido de carbono, dióxido de carbono y vapor de agua.

En la práctica, el enfriamiento de la flama puede presentarse en procesos industriales a bajas temperaturas, especialmente en calentadores de aire, secadores y estufas de recirculación. Cuando el aire se calienta por mezclado con gases calientes de chimenea, el aire mismo puede convertirse en el medio refrigerante sobre la parte de la flama con la que entre en contacto, si es que se encuentra demasiado frío y la flama no esté protegida. Con el enfriamiento de la flama se originan los productos indeseables que pueden ser

detectados, inclusive en pequeñas cantidades, al percibirse un olor agrio característico de tales productos.

Para impedir el enfriamiento de la flama en calentadores de aire, se acostumbra protegerla colocando alrededor de la misma, un tubo de diversos materiales resistentes al calor, con una abertura para permitir que entre a la flama algo de aire.

En un sistema de combustión, el aire se clasifica en los siguientes tipos:

- a) *Aire primario*: se refiere al aire de combustión que se mezcla con el combustible antes del quemador o en el quemador propiamente.
- b) *Aire secundario*: se refiere al aire de combustión que entra alrededor del quemador para completar la combustión.
- c) *Aire terciario*: se refiere al aire de combustión que se suministra en adición al aire secundario y por aperturas en el horno.

En los quemadores de mezclado en boquilla, como su nombre lo indica, se suministra al quemador todo el aire requerido para la combustión, antes del punto de ignición. Los sistemas de premezclado mezclan el gas y el aire en una cámara de mezclado y entonces se distribuye el combustible a uno o más quemadores. Ambos sistemas dependen completamente del aire primario.

Los sistemas atmosféricos son similares al del gas doméstico. Sistemas gaseosos a baja presión inspiran un 20 a 40% del aire requerido como aire primario y el resto es tomado de la atmósfera circundante de la flama. En sistemas atmosféricos a alta presión, como los que se encuentran en la industria, la inspiración de aire primario es de un 70%.

La geometría de la flama es controlada por el porcentaje de aireación primaria, lo cual se cumple particularmente en los sistemas de premezclado. Como puede apreciarse en la figura 1.1, cuando se suministra el 100% del aire requerido par la combustión, como aire primario, se presentará una pequeña flama de color azul pálido dado que todo el aire de combustión se encuentra mezclado con el gas y la mezcla se enciende en cuanto llega a la boquilla. Una flama producto de una mezcla con 75% de aire primario se caracteriza por un doble cono azul y por ser un poco más larga, dado que un 25% de las moléculas de gas necesitan tiempo para encontrar oxígeno antes de que puedan arder. Con una aireación del 50%, la flama se torna todavía más larga y tenue, con algunos tintes anaranjados. A un 25% de aire primario en la mezcla, solo un poco de azul permanece en la flama que se vuelve mucho más larga con el amarillo como color predominante. Cuando sólo se quema gas, la flama es amarilla y muy larga, debido a que todo el aire de combustión es tomado del aire secundario. Este tipo de flama tiende a producir humo negro, lo que indica que algunos átomos incandescentes de carbón no se alcanzan a combinar con el oxígeno y al alejarse de la zona de reacción se enfrían, convirtiéndose en partículas de hollín.

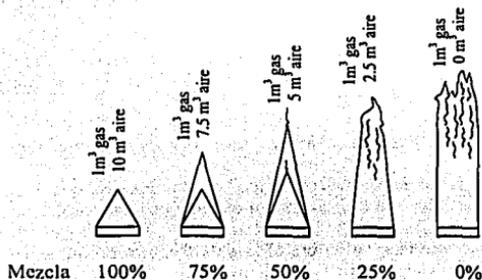


Figura 1.1 Efecto del % de aireación en la geometría de la flama.

Fuente: Referencia 1, p.7.

Cuando una mezcla de aire y combustible, con el 100% de aireación primaria, se alimenta a través de un tubo, sale por el extremo abierto y se pone en contacto con una fuente de ignición, como se muestra en la figura 1.2, se forma una flama cuando la velocidad de escape de la mezcla se iguala con la velocidad de propagación de la flama.

Si la velocidad de escape de la mezcla es mayor que la velocidad de propagación de la flama, ésta se extinguirá. Si la velocidad de propagación de la flama es mayor que la velocidad de escape de la flama, ésta se introducirá al tubo, lo que se conoce como *retroceso de flama* o *flashback*.

La velocidad de propagación de la flama varía con cada combustible. Este es un factor importante a considerar cuando se hace un cambio de combustible en un sistema, especialmente en sistemas de premezclado.

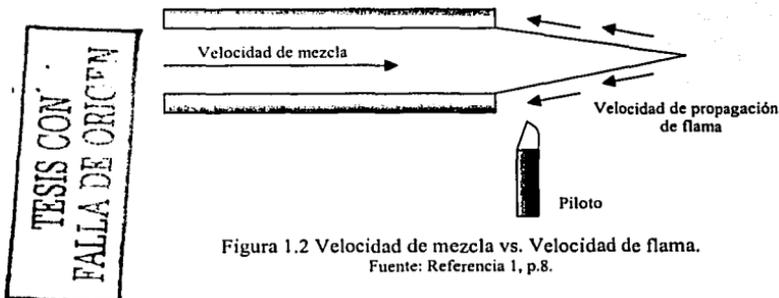


Figura 1.2 Velocidad de mezcla vs. Velocidad de flama.

Fuente: Referencia 1, p.8.

Cuando una fuente de ignición se acerca al extremo abierto del tubo, las moléculas de la mezcla en la periferia empiezan a reaccionar y a producir calor. Al iniciarse una reacción en cadena hacia el centro, existe una fracción de segundo de diferencia entre una reacción y otra y por esto cada reacción se lleva a cabo un poco más adelante de la siguiente, dando a la flama una forma de cono. Otro fenómeno que afecta y produce la forma de cono de la flama, consiste en que la velocidad de la mezcla en el centro del tubo es mayor que la velocidad cerca de las paredes del tubo, donde la restricción por fricción es mayor.

1.5 Relación aire - combustible.

Para iniciar una reacción de combustión se requiere tener aire y combustible mezclados en la proporción correcta. La temperatura debe ser la de ignición del combustible. Una vez iniciada la combustión, tanto el aire como el combustible deben seguir siendo alimentados en la proporción correcta al quemador.

La relación *aire - combustible* se define como la relación entre las cantidades o flujos de aire y combustible, suministrados al quemador, en unidades consistentes, ya sea de volumen o máscas. Para combustibles gaseosos, normalmente la relación se toma en unidades volumétricas, mientras que para combustibles sólidos la relación se puede expresar en unidades máscas. Es común que la relación se exprese en unidades tales como pies³/lb, pies³/gal, m³/lt.

La *relación estequiométrica* es la relación aire - combustible químicamente correcta para obtener una combustión perfecta, o sea, sin exceso de aire o combustible.

La *relación con exceso de aire* es la relación aire - combustible en una mezcla en la que hay más aire del requerido para la combustión perfecta. El exceso se expresa en forma de porcentaje.

Los efectos perjudiciales del exceso de aire en una mezcla de combustión, se resumen como:

- a) Mayor consumo de combustible por unidad de producto.
- b) Temperatura de flama más baja.
- c) Menor transferencia de calor a la carga, debido a que la diferencia de temperaturas es menor.
- d) Riesgo de que se apague el quemador.
- e) Mayor cantidad de gases de combustión producidos y aumento en la presión interior del horno.
- f) El exceso de aire puede enfriar la flama a una temperatura menor de 1200°F, lo cual interrumpe la combustión y causa la formación de productos intermedios indeseables.

La *relación con exceso de combustible* es la relación aire - combustible en una mezcla en la que hay más combustible que el requerido para una combustión perfecta, lo que implica que hay una deficiencia de aire.

Los efectos perjudiciales del exceso de combustible en una mezcla de combustión, se resumen en:

- a) Mayor consumo de combustible por unidad de producto.
- b) Temperatura de flama más baja.
- c) La reacción $2C + O_2 \rightarrow 2CO$, libera únicamente un 20% del total de calor que se libera con la reacción $C + O_2 \rightarrow CO_2$.
- d) Baja eficiencia térmica debido a que no todo el calor del combustible es liberado dentro del horno.
- e) Riesgo potencial de explosión si el quemador se apaga debido a una atmósfera demasiado rica. El combustible adicional puede encontrar oxígeno adicional y una chispa u otra fuente de ignición que pueden causar una explosión.

Los límites de inflamabilidad de una mezcla y aire son las relaciones máxima y mínima de aire - combustible que pueden quemarse. Cualquier mezcla de aire - combustible dentro de los límites de inflamabilidad, se quemará o formará flama cuando se eleva la temperatura a la de ignición del combustible. Mezclas de aire y gas natural con relación aire - gas dentro de la gama 6:1 y 20:1, están dentro de los límites de inflamabilidad del gas natural.

1.6 Balance de Energía y Eficiencia de Hornos.

El balance de energía de un horno es simplemente una relación de la forma en que fue utilizado el calor generado por el combustible. Se le denomina *calor total* al suministrado a un horno como resultado de la combustión. Una parte de este calor es el que se utiliza para calentar el producto, al que se le llama calor útil.

La forma más simple de representar un balance de energía es:

$$\text{Calor Total} - \text{Calor Útil} = \text{Pérdidas}$$

La *eficiencia térmica total* de un horno o caldera, es la relación entre el calor útil y el calor total, expresado como porcentaje:

$$\text{Eficiencia (\%)} = (\text{Calor Útil} / \text{Calor Total}) (100)$$

La eficiencia térmica de un horno es importante porque proporciona la cantidad de calor total que se consume para calentar el producto, además de ser un medio de comparación del rendimiento con respecto a otros hornos, así como respecto a las modificaciones del mismo.

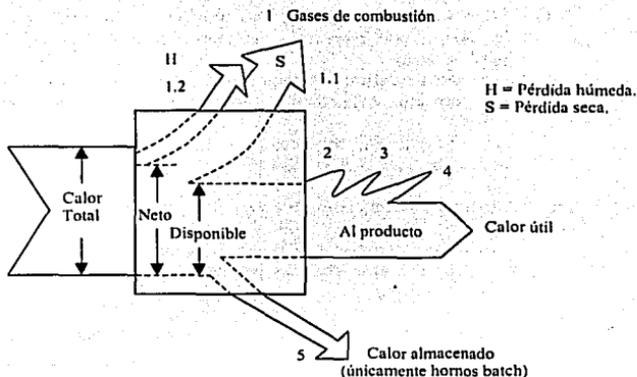
Las pérdidas, que son las cantidades en las que se debe poner mayor atención y reducir al mínimo, se pueden clasificar en cinco grupos principales:

- a) Pérdidas con los gases de combustión.
 - i. Calor sensible de los gases de combustión a la temperatura de salida del horno, con respecto a la temperatura de referencia ambiente (pérdida seca).
 - ii. Calor latente del vapor de agua contenido en los gases de combustión, con respecto a la temperatura de referencia ambiente (pérdida húmeda).
 - iii. Calor perdido por combustión químicamente incompleta, cuando se trabaja con exceso de combustible.
- b) Calor perdido a través de paredes, techo y piso al ambiente exterior.
 - i. Se incluyen pérdidas de calor por conducción a través de accesorios metálicos que atraviesan las paredes o techo, tales como termopares, anclajes, mirillas, etc.
- c) Calor perdido por radiación a través de aperturas tales como mirillas, puertas, entradas de quemador, etc.
- d) Calor utilizado para calentar los carros, soportes, cajas, transportadores.
- e) Calor utilizado para calentar las paredes, techo y piso del horno, cuando se trata de un proceso por lotes.

Para hornos especiales existen otras pérdidas de calor tales como:

- a) Calor perdido a agua de enfriamiento.
- b) Calor perdido por radiación de superficies de metales líquidos en hornos de crisol.
- c) Calor perdido al introducir objetos o mecanismos de carga al horno.

Un *diagrama Sankey* es una forma gráfica de representar el balance de cualquier horno en una forma fácil de visualizar. En la figura 1.3 se presenta este diagrama generalizado para un horno típico.



Calor total (CT) - Pérdida húmeda (H) = Calor Neto (CN)
 Calor Neto (CN) - Pérdida seca (S) = Calor Disponible (CD)
 Calor Disponible (CD) - Pérdidas 3 a 5 = Calor Útil (CU)

Los términos utilizados en el balance deben de estar en unidades consistentes de energía por unidad de tiempo, por unidad de combustible, o por unidad de producción.

Figura 1.3. Diagrama Sankey para un balance típico de un horno.
 Fuente: Referencia 2, p.59.

Quando un combustible se quema con la cantidad de aire correcta para una combustión perfecta, se producen los gases de combustión (CO_2 , H_2O , N_2), los cuales son calentados por el calor generado, a una temperatura alrededor de 3500°F . Parte de este calor es transferido al horno y a su carga por radiación y convección. Si los gases de combustión permanecieran dentro del horno el periodo de tiempo suficiente, los gases de combustión transmitirían calor al horno hasta que su temperatura se igualara con la del horno; en la práctica esto no sucede, sino que los gases salen del horno a temperaturas de cuando menos 100 a 200°F arriba de la temperatura del horno.

La cantidad de calor que llevan estos gases es muy significativa dado que representa aproximadamente el 25% del calor total si la temperatura de los gases es de 800°F y el 50% del calor total, si la temperatura de los gases es de 1850°F . La cantidad de calor que llevan los gases de combustión como calor latente y calor sensible, se incrementa con la temperatura del horno.

La parte del calor total que permanece dentro del horno y su carga, es el *calor disponible* que calienta la carga, el cuerpo del horno y el que debe compensar las pérdidas continuas a través de paredes, aperturas, etc. Normalmente se expresa como porcentaje del calor total o en unidades de calor por unidad de tiempo.

Como las pérdidas de calor por los gases de combustión, varían con respecto a la temperatura, el calor disponible también varía. De igual manera presenta variación con respecto a la relación aire – combustible, ya que con la relación estequiométrica perfecta, el calor disponible es el máximo a cualquier temperatura de los gases. Como ya se ha mencionado, cuando se presenta una combustión con exceso de aire, el calor disponible disminuye.

El efecto que tiene el exceso de combustible sobre el calor disponible es similar al efecto del exceso de aire, esto es, baja eficiencia. El exceso de combustible que entra en la mezcla no reacciona por falta de aire, pero sí absorbe calor para alcanzar la temperatura de los productos de la combustión y sale por la chimenea sin aportar calor al proceso. La pérdida de calor por una combustión incompleta es aproximadamente proporcional a la deficiencia de aire en la mezcla.

El *calor útil* es el calor que realmente penetra la carga para calentarlo. El contenido total de calor de la carga de un horno es igual al calor sensible más el calor latente.

El *calor sensible* es el calor que causa un incremento en la temperatura de la carga y se determina con la siguiente fórmula, para cualquier material:

$$Q = W * C_p * (T_2 - T_1)$$

donde:

Q = Calor sensible en kcal o BTU.

W = Masa del material en kg o lb.

C_p = Calor específico del material en kcal/kg °C o BTU/lb °F.

T₂ = Temperatura después del calentamiento en °C o °F.

T₁ = Temperatura inicial, antes del calentamiento en °C o °F.

El *calor específico* de cualquier material es la cantidad de calor requerida para incrementar la temperatura de una masa determinada del material en un grado. Usualmente se expresa en BTU/lb °F o Cal/g °C. Un BTU/lb °F equivale a una Cal/g °C. El calor específico varía con la temperatura, pero para cálculos que no requieren de mayor precisión, puede utilizarse el valor del calor específico promedio que resulte, al evaluarlo a ambas temperaturas extremo.

El *calor latente* es el calor absorbido por un material que no produce un incremento en su temperatura, sino un cambio de estado físico. Un ejemplo típico es el agua: si a un bloque de hielo se le aplica calor cuando la temperatura es de 0° C, se empezará a derretir y la temperatura no se elevará, hasta que se derrita por completo. El calor necesario para que un material cambie de estado sólido a líquido se denomina calor latente de fusión, mientras que el calor necesario para que cambie de estado líquido a gaseoso se denomina calor

latente de vaporización. El calor latente se expresa en unidades de energía por unidad de masa. El calor requerido para producir un cambio alotrópico (cambio de estructura cristalográfica), se denomina calor latente de transformación.

1.7 Incineración.

La incineración se entiende como el proceso de disposición de residuos en el cual los desechos combustibles sólidos, líquidos y gaseosos son quemados *completamente*, bajo condiciones controladas. Idealmente, la incineración reducirá los desechos combustibles sólidos a un volumen comparativamente pequeño de residuos inertes, inodoros y no putrescibles, el cual puede ser dispuesto de la misma manera que cualquier material utilizado para relleno sanitario. Igualmente, los gases descargados de la operación ideal de la chimenea del incinerador, no contendrá los productos de la combustión incompleta como son humo, monóxido de carbono, hidrógeno, hidrocarburos y partículas carbonizadas.

La incineración es un proceso de combustión complejo que comprende descomposición pirolítica, combustión superficial y gaseosa, transferencia de calor por conducción, convección y radiación a través de un medio heterogéneo además de flujo gaseoso a través de un lecho empacado de material cuyo tamaño, forma y orientación se encuentran cambiando continuamente. La complejidad física y química del proceso de incineración, en conjunción con la naturaleza heterogénea de los residuos sólidos, ocasionó que los incineradores construidos en un principio generaran problemas de índole ambiental, dada la descarga de cantidades considerables de humo, ceniza volátil y olores hacia la atmósfera, además de la producción de residuos que contenían una cantidad apreciable de material sin quemar, putrescible. Los residuos con tales características son difíciles de disponer de una manera ecológicamente aceptable, es decir, sin que se presente la reproducción indeseable de roedores e insectos.

Las características de los desechos, particularmente su composición química, contenido de ceniza y material volátil, así como el valor de calentamiento, tienen efecto en el diseño, número y capacidad de los incineradores, así como en la naturaleza y cantidad de los contaminantes del aire generados. Es por esto que para realizar el diseño o cálculos acerca del funcionamiento de un incinerador específico, deben conocerse además de la composición química y del valor de calentamiento, los requerimientos de aire para quemar los residuos de los que se trate. De igual forma, para elaborar un plan de manejo de residuos, debe conocerse a cuanto asciende la producción de los residuos generados, lo cual depende estrechamente de las condiciones locales.

El diseño de un incinerador implica el dar solución a muchos problemas relacionados con la generación de los residuos y la composición de los mismos. Por ejemplo, con el incremento en el valor de calentamiento y un menor contenido de humedad de los desechos, se reduce la capacidad requerida de un incinerador con recubrimiento refractario, de otra manera las temperaturas de flama resultantes podrían dañar el horno. Un incremento en la materia volátil de los desechos, produce un aumento significativo en la cantidad de calor liberado en el horno, por encima de la parrilla, comparado con el calor

liberado sobre la parrilla. Así, sólo mediante la anticipación de estos eventos es que puede empatarse una emisión de contaminantes aceptable con un costo que permita que sea factible la construcción del equipo.

Los incineradores de residuos sólidos se clasifican en dos grandes categorías: las unidades *in situ* que son utilizadas más frecuentemente en complejos residenciales como conjuntos departamentales, en actividades comerciales como supermercados y en instituciones como son los hospitales, y las unidades *centrales*, comúnmente conocidas como incineradores municipales, que reciben los residuos sólidos de ciudades y suburbios que son transportados para este fin. En el siguiente capítulo se abordarán más ampliamente las variantes que presenta cada uno de estos tipos.

Finalmente en cuanto a incineración, cabe mencionar que en la Norma Oficial Mexicana 087² que establece los requisitos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos biológico-infecciosos que se generan en establecimientos que presten atención médica, la *cremación* se define como el *proceso para la destrucción de partes orgánicas y residuos patológicos mediante la combustión*.

1.8 Clasificación de los Residuos Municipales.

Las diferentes clases de residuos requieren incineradores de diseño diferente. En general, cada tipo de residuo industrial podría ser manejados por un incinerador en específico. Como ya se mencionó, las características de los desechos, especialmente su composición química, valor de calentamiento y contenido de ceniza, afectan el diseño y capacidad del incinerador, así como el tipo de contaminantes que deben de controlarse.

En la Tabla 1.1 se encuentra la clasificación de los residuos susceptibles de ser incinerados que proporciona el Instituto Americano de Incineración (Incinerator Institute of America).

² Referencia 3.

Tabla 1.1 Clasificación de los residuos municipales.

Tipo	Descripción	Densidad, kg/m ³	Valor de calentamiento, MJ/kg
0	Basura, papel altamente combustible, cartón, cajas de madera, arriba de un 10% de plásticos y caucho.	128 – 160	19.7
1	Basura, papel combustible, cartón, madera, follaje, arriba de un 10% de residuos de alimentos, no plásticos ni caucho.	128 – 160	15.1
2	Desechos, una mezcla de desechos y basura.	241 – 320	10.0
3	Basura, residuos animales y vegetales.	481 – 562	5.8
4	Restos patógenos humanos y animales.	722 – 883	2.3
5	Residuos gaseosos, líquidos o semilíquidos.	---	---
6	Residuos sólidos y semisólidos, mezclas que contienen más de un 10% de plásticos.	---	Variable
7	Residuos sólidos compactados (mayormente papel).	562 – 803	---

Fuente: Referencia 1, p.4.

Capítulo 2

GENERALIDADES SOBRE INCINERADORES.

2.1 Tipos de incineradores.

Existe una gran variedad de incineradores para la disposición en sitio de residuos sólidos y varias clasificaciones. En principio, puede hablarse de incineradores de una sola cámara y de cámara múltiple.

Los incineradores de una sola cámara no cumplen con los límites establecidos de emisión de sustancias contaminantes del aire. Un incinerador de este tipo se muestra en la figura 2.1. Los residuos sólidos se colocan sobre la parrilla y se incineran. Al igual que en una hoguera abierta, con este tipo de incineradores se produce humo excesivo y contaminación del aire. Un intento de control de las emisiones a niveles razonables consiste en la adición de un post - quemador, ya que la mayoría de las emisiones contaminantes en los incineradores de una sola cámara, son producto de la combustión incompleta de los residuos.

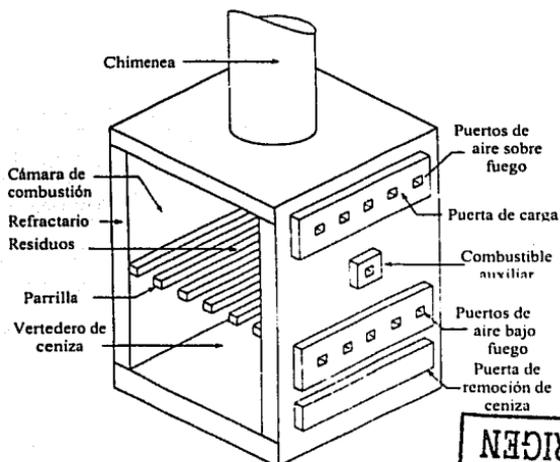


Figura 2.1 Incinerador de una sola cámara.

Fuente: Referencia 4, p. 165.

FALTA DE ORIGEN
TESIS CON

El diseño de los incineradores de cámara múltiple surge de la necesidad de obtener la combustión completa de los residuos y disminuir la emisión de partículas en el gas de chimenea, por lo que estos incineradores consisten de una primera cámara en la que se lleva a cabo la combustión de los residuos sólidos y de una cámara secundaria que proporciona el tiempo de residencia y el combustible adicional requeridos para la combustión de los productos gaseosos y las partículas combustibles sólidas descargadas de la primera cámara.

La configuración de un incinerador moderno de cámara múltiple se encuentra dentro de alguno de los dos siguientes tipos generales:

- *De Retorta*, en el que se presenta el retorno del flujo de gases a través del arreglo en "U" de las cámaras que lo componen (figura 2.2),
- *En línea*, llamado así porque las cámaras que lo componen siguen una tras la otra, como su nombre lo dice, en línea (figura 2.3).

Las características esenciales de diseño que distinguen al tipo de retorta son:

- a) El arreglo de las cámaras provoca que los gases de combustión fluyan virando en un ángulo de 90°, tanto en dirección vertical como lateral.
- b) El retorno del flujo de los gases permite la utilización de una pared común entre las etapas de combustión primaria y secundaria.
- c) Las cámaras de mezclado, puertos de flama y puertos de la pared cortina tienen razones longitud-ancho en el rango de 1:1 a 2.4:1.
- d) El espesor de la pared bajo el puerto de flama está en función de los requerimientos dimensionales de las cámaras de mezclado y de combustión. Esto resulta en una construcción un tanto cuanto pesada para tamaños que manejen por arriba de 500 lb/h.

Las características de diseño que distinguen al tipo en línea son las siguientes:

- a) El flujo de los gases de combustión se produce en línea recta a través del incinerador con giro de 90° sólo en dirección vertical.
- b) El arreglo en línea es fácilmente adaptable en instalaciones que requieren espacio entre las cámaras por cuestiones de operación, mantenimiento u otras.
- c) Todos los puertos y cámaras se extienden a través de todo lo ancho de la cámara de ignición. Las cámaras de mezclado, puertos de flama y puertos de la pared cortina de flujo cruzado tienen razones longitud-ancho en el rango de 2:1 a 5:1.

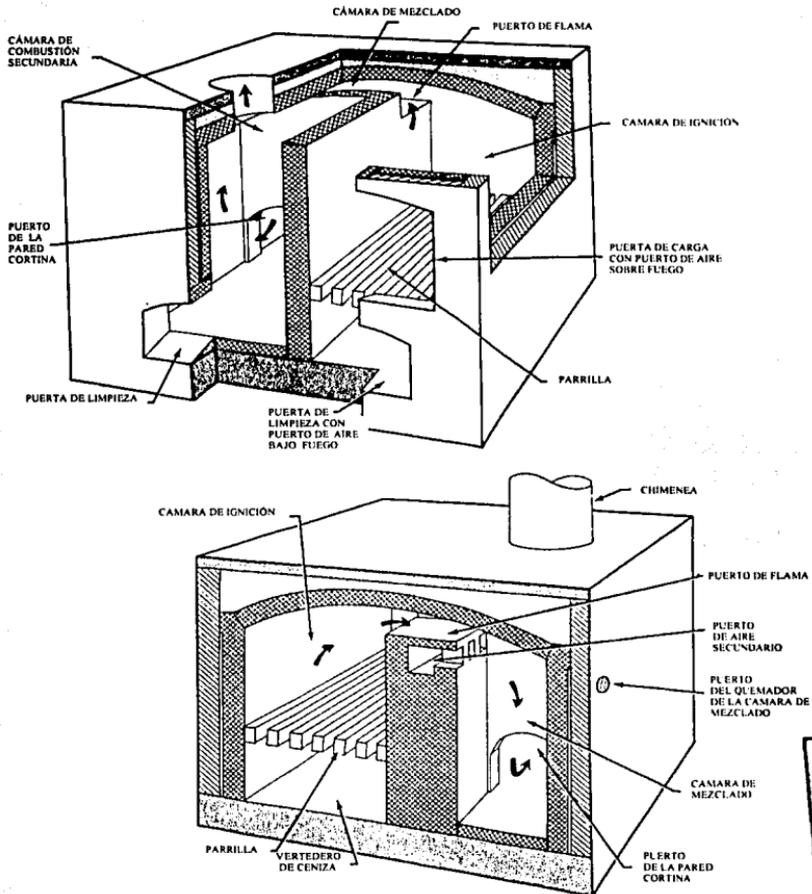


Figura 2.2 Corte de un incinerador de cámara múltiple de retorta.
Fuente: Referencia 5, p. 438.

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

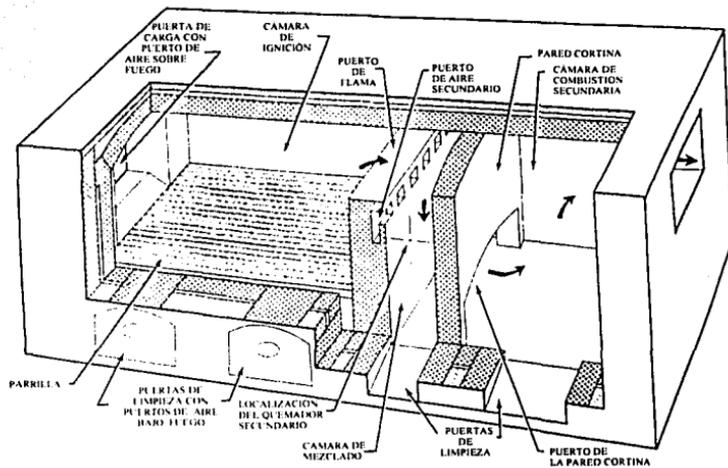


Figura 2.3 Corte de un incinerador de cámara múltiple en línea.
Fuente: Referencia 5, p. 439.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.2 Descripción del proceso de combustión en un incinerador de cámara múltiple.

El proceso de combustión en un incinerador de cámara múltiple procede en dos etapas: la primaria o de combustión de los residuos sólidos en la cámara de ignición, seguida por la combustión en fase gaseosa o etapa secundaria. La zona en la que sucede la etapa secundaria se compone de dos partes, una cámara de mezclado y una cámara de combustión.

El proceso de incineración comienza en la cámara de ignición e incluye el secado, la ignición y la combustión de los desechos sólidos. Conforme la combustión procede, la humedad y los componentes volátiles del combustible son vaporizados y parcialmente oxidados; abandonan la cámara de ignición a través del puerto de flama y fluyen hacia la cámara de mezclado, donde es introducido aire secundario. La combinación de la temperatura adecuada y el aire adicional, aumentando en la cámara de mezclado quemadores secundarios si es necesario, contribuyen a la inicialización de la segunda etapa del proceso de combustión. El mezclado turbulento, resultante de las áreas restringidas de flujo y cambios abruptos en la dirección del mismo, promueven la reacción en fase gaseosa. Al pasar a través del puerto de la pared cortina desde la cámara de mezclado hacia la cámara de combustión final, los gases se someten a cambios adicionales en la dirección del flujo acompañados por la expansión y oxidación final de los componentes del combustible. La ceniza volátil y otras partículas sólidas son colectadas por incidencia en las paredes y simple asentamiento. Los gases finalmente se descargan a través de una chimenea o una combinación de enfriador (por ejemplo una cámara de espray de agua) y un sistema de tiro inducido. Ambos sistemas deben limitar el aire de combustión a la cantidad requerida por la capacidad nominal del incinerador.

2.3 Comparación de los tipos generales de incineradores de cámara múltiple.

Los dos factores básicos que tienden a causar una diferencia en el funcionamiento de dos incineradores de cámara múltiple son:

- a) La capacidad del puerto de flama y de la cámara de mezclado para mantener las velocidades del gas adecuadas dentro de las limitaciones dimensionales impuestas por el tipo particular del que se trate.
- b) El mantenimiento de una distribución apropiada de la flama sobre el puerto de flama y a través de la cámara de mezclado.

Un incinerador de retorta dentro del rango óptimo de tamaño ofrece las ventajas de economía estructural y de tamaño, dada su forma cúbica y la longitud reducida de su pared exterior. Su funcionamiento es más eficiente que la contraparte en línea en el rango de capacidades que va de 50 a 750 libras por hora. En estos pequeños tamaños, las secciones transversales de los puertos y de las cámaras funcionan bien, dados los giros abruptos que implica este diseño. En los incineradores de retorta con una capacidad de 1000 libras por hora o más, el gran tamaño de la sección de flujo cruzado reduce la turbulencia efectiva en la cámara de mezclado produciendo una distribución y penetración inadecuadas de la flama y un pobre mezclado del aire secundario.

No existen factores preponderantes que favorezcan a la configuración de retorta o en línea en el rango de capacidades de 750 a 1000 lb/h. La elección en este rango está influenciada por limitaciones de espacio, naturaleza de los residuos, condiciones de carga y la preferencia personal.

Los incineradores en línea son recomendados para altas capacidades de operación y no resulta satisfactorio su servicio en tamaños pequeños. Los incineradores en línea pequeños son menos eficientes que los de retorta con respecto a la etapa de combustión secundaria. En los incineradores en línea con una capacidad menor a 750 lb/h, la corta longitud de la parrilla tiende a inhibir la propagación de la flama a lo ancho de la cámara de combustión. Esto, junto con una débil distribución de la flama sobre el puerto de flama, puede resultar en el paso de humo debido a la lenta combustión en las secciones rectas de la parrilla a lo largo del incinerador y a la salida de la chimenea, sin que haya un adecuado mezclador ni una debida combustión secundaria. Los modelos en línea en los tamaños de 750 libras por hora o mayores, tienen parrillas lo suficientemente largas para mantener la combustión a todo lo ancho, produciéndose una distribución de flama satisfactoria en el puerto de flama y en la cámara de mezclador. Las parrillas más cortas en los incineradores en línea pequeños, causan además un problema de mantenimiento. La pared del puerto de flama es muy susceptible al maltrato mecánico ya que usualmente no se proporciona con un soporte o apoyo estructural y es delgada donde se localizan las líneas de aire secundarias. Una operación de carga no cuidadosa y la limpieza de la parrilla en los incineradores en línea de parrilla corta, pueden llevar al rompimiento de la pared del puerto de flama en un corto tiempo.

El límite superior en capacidad para utilizar el incinerador en línea no ha sido establecido. Los incineradores con una capacidad menor a las 2000 libras por hora pueden ser estandarizados para propósitos de construcción. Los incineradores de gran capacidad, sin embargo, no son fácilmente estandarizados a partir de los problemas de construcción, utilización del material, operación mecanizada de la parrilla de alimentación, sistemas de tiro inducido y otros factores que hacen de cada instalación, esencialmente una configuración de diseño particular. Aún así, los criterios de diseño abordados aquí son aplicables al diseño tanto de grandes como pequeñas unidades.

2.4 Principios de combustión aplicables al proceso de incineración.

Entre los principios de combustión de sólidos que son aplicados a los procesos de incineración se encuentran los siguientes:

- a) Aire y combustible deben encontrarse en proporción adecuada.
- b) Aire y combustible, especialmente los combustibles gaseosos, deben ser mezclados adecuadamente.
- c) La temperatura debe ser lo suficientemente alta para la ignición tanto del combustible sólido como de los componentes gaseosos.
- d) El volumen del horno debe ser el suficiente para que se cuente con el tiempo de residencia necesario para completar la combustión.
- e) Las proporciones del horno deben ser tales, que la temperatura de ignición se mantenga y sea minimizada la emisión de ceniza volátil.

La fluctuación en la calidad del combustible dificulta el diseño satisfactorio del incinerador. Además de los amplios rangos en composición, humedad y volatilidad del combustible están la diversidad en contenido de ceniza, densidad, calor de combustión, velocidad de combustión y tamaño de partícula. Todos estos factores afectan dentro de ciertos límites las variables de operación, como la velocidad de propagación de la flama, la longitud de la misma, los requerimientos de aire de combustión y la necesidad de calor auxiliar.

2.5 Factores de Diseño de incineradores de cámara múltiple.

El control de la reacción de combustión y la reducción en la cantidad de ceniza volátil que se emite mecánicamente, son los dos factores más importantes a tomar en cuenta en el diseño de un incinerador de cámara múltiple. Los parámetros con los que se diseña la cámara de ignición son considerados fundamentales, a partir de que las descargas de contaminantes sólidos pueden estar sólo en función de los procesos químicos y mecánicos que tomen lugar en la primera etapa de combustión. Otros factores importantes son la distribución del aire de combustión y tiro suplementario con respecto a la temperatura y la velocidad de combustión en la etapa secundaria. Algunos de estos factores se encuentran en función de la velocidad de combustión deseada y se expresan mediante fórmula empíricas, mientras que otros, son valores asignados que son independientes del tamaño del incinerador.

La tabla 2.1 lista parámetros básicos, factores de evaluación y ecuaciones para el diseño de incineradores de cámara múltiple. Asimismo proporciona los valores mínimos establecidos para cada uno de los factores. Las desviaciones permisibles deben ser interpretadas con el cuidado suficiente, a fin de evitar el empleo de valores que se encuentren considerablemente alejados del óptimo. De igual forma, la aplicación de estos factores debe combinarse con la apreciación de las limitaciones prácticas de construcción y economía. Los valores determinados para la mayoría de los parámetros son valores empíricos promedio, precisos en el mismo grado con respecto a la precisión de las pruebas de evaluación. La exactitud de las figuras presentadas se reduce a la fluctuación en la composición del residuo a incinerar y a las condiciones de operación. Para propósitos de diseño se permiten variaciones de $\pm 10\%$ con respecto al valor óptimo, mientras que las velocidades pueden desviarse hasta un 20% sin serias consecuencias.

Los valores óptimos de la altura del arco y el área de la parrilla pueden ser determinados por medio del calor que será liberado por el desecho cuando es quemado, e interpolarse entre las curvas mayor y menor de las figuras 2.4 y 2.5. Se consideran razonables desviaciones de $\pm 10\%$.

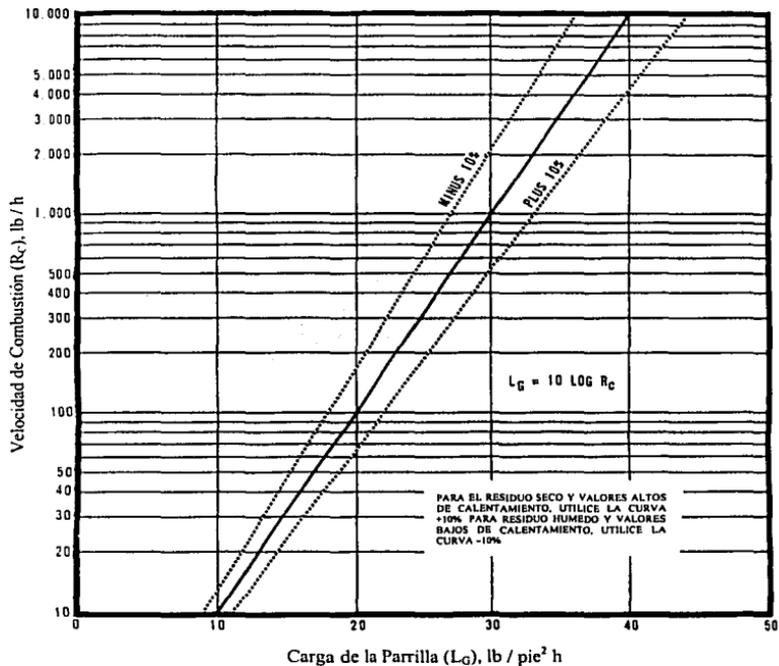


Figura 2.4 Relación entre la carga de la parrilla y la velocidad de combustión.

Fuente: Referencia 5, p. 443.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

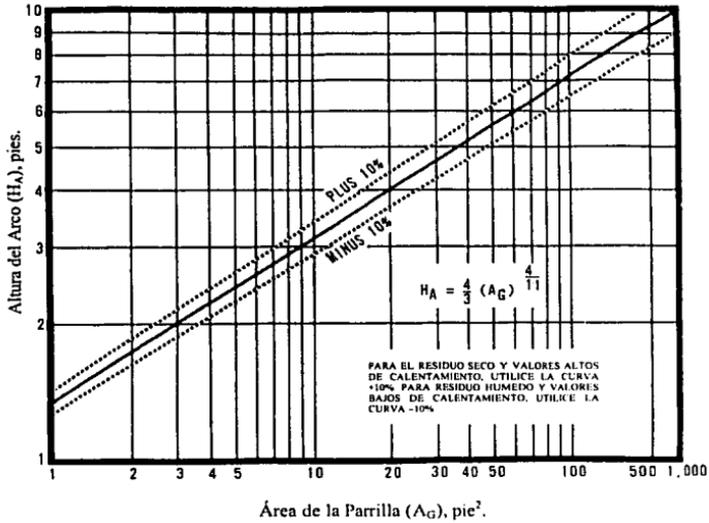


Figura 2.5 Relación entre el área de la parrilla y la altura del arco.
Fuente: Referencia 5, p. 444.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 2.1 Factores de diseño de incineradores de cámara múltiple.

Factor	Valor recomendado	Desviac. permitida
Zona de combustión primaria:		
Carga de la parrilla (Grate loading), L_G	10 Log R_c ; lb/h pie ² , donde R_c es la velocidad de combustión del desecho (referirse a la Figura 2.4)	± 10%
Área de la parrilla, A_G	$R_c - L_G$; pie ²	± 10%
Altura promedio del arco, H_A	$4/3 (A_G)^{1/3}$; pies (referirse a la Figura 2.5)	-----
Razón Longitud : Ancho (aprox.): Retorta	Arriba de 500 lb/h, 2:1; alrededor de 500 lb/h, 1.75:1.	-----
En línea	Disminuyendo desde 1.7:1 para 750 lb/h, hasta alrededor de 1:2 para 2,000 lb/h de capacidad. Sobredimensionamiento es aceptable para unidades de más de 11 pies de longitud de la cámara de ignición.	-----
Zona de combustión secundaria:		
Velocidades del gas:		
Puerto de flama (flame port) a 1,000° F, V_{FP}	55 pies/s.	± 20%
Cámara de mezclado (mixing chamber) a 1,000° F, V_{MC}	25 pies/s.	± 20%
Puerto de la pared cortina (curtain wall port) a 950° F, V_{CWP}	Alrededor de 0.7 veces la velocidad de la cámara de mezclado.	-----
Cámara de combustión (combustion chamber) a 900° F, V_{CC}	5 a 6 pies/s.; siempre menos a 10 pies/s.	-----
Longitud downpass de la cámara de mezclado, L_{MC} , desde la parte superior del arco de la cámara de ignición, hasta la parte superior del puerto de la pared cortina.	Altura del arco promedio, pies.	± 20%
Razones Longitud : Ancho, de secciones de flujo cruzado		
Retorta, cámara de mezclado y cámara de combustión.	Rango de 1.3:1 a 1.5:1	-----
En línea	Fijo por las velocidades del gas debido al ancho del incinerador.	-----
Aire de combustión:		
Requerimiento de aire en la operación de carga por lotes:	Base: 300% aire en exceso, 50% del requerimiento de aire es admitido a través de puertos ajustables; 50% del requerimiento de aire se introduce a través de la puerta de carga y ranuras.	
Distribución del aire de combustión:		
Puertos de aire sobre fuego	70% del aire requerido total	-----
Puertos de aire bajo fuego	10% del aire requerido total	-----
Puertos de aire de la cámara de mezclado	20% del aire requerido total	-----
Tamaño del puerto, presión velocidad nominal de entrada	0.1 pulgadas C. A.	-----
Factores de sobredimensionamiento de los puertos de entrada de aire:		
Entrada de aire primario	1.2	
Entrada de aire bajo fuego	1.5 para alrededor de 500 lb/h, a 2.5 para 50 lb/h	
Entrada de aire secundario	2.0 para alrededor de 500 lb/h, a 5.0 para 50 lb/h	

TESIS CON
 FALLA DE CALIFICACION

Tabla 2.1 Factores de diseño de incineradores de cámara múltiple (continuación).

Factor	Valor recomendado	Desviac. permitida
Temperatura del horno:		
Temperatura promedio de los productos de combustión	1,000° F.	± 20° F.
Quemadores Auxiliares:		
Requerimientos de servicio normales:		
Quemador primario	3,000 a 10,000 BTU/lb de humedad en el desecho.	
Quemador secundario	4,000 a 12,000 BTU/lb de humedad en el desecho.	
Requerimientos de tiro:		
Tiro de la chimenea teórico (theoretical stack draft), D_r	0.15 a 0.35 pulg. C. A.	-----
Tiro de inducción de aire primario disponible, (available draft), D_A , (Asúmase una presión velocidad de entrada equivalente)	0.1 pulg. C. A.	
Velocidad en la chimenea de tiro natural (stack velocity), V_s	Menos de 30 pies/s. a 900° F.	-----

Fuente: Referencia 5, p. 442.

2.6 Preceptos o Reglas de Diseño para Incineradores de Residuos Sólidos.

El mecanismo de ignición debe ser uno de combustión superficial del lecho de combustible; esto se logra por el uso predominante de aire de combustión sobre el fuego y cargando el incinerador de tal manera que se obtenga una corrida concurrente tanto de aire como de desechos, con la mínima admisión de aire de combustión por debajo del fuego. Es importante limitar la admisión de aire por debajo del fuego para que se mantenga la temperatura del lecho de combustible. En el caso de los incineradores crematorios, el equipo no puede ser cargado como se especificó anteriormente, sin embargo, el concepto de combustión superficial es igualmente válido.

Para lograr la combustión superficial del lecho de combustible por medio del uso de aire sobre el fuego, la puerta de carga debe localizarse en la sección de la cámara de ignición más alejada del puerto de flama y el combustible debe conducirse desde el frente hacia la parte posterior. De esta manera, los componentes volátiles de la carga fresca pasan a través de las flamas de la porción calentada y estabilizada del lecho de combustible. Además, la velocidad de ignición del desecho no quemado es controlada, lo que previene la volatilización de la ceniza, con las resultantes extinción de la flama y creación de humo. La carga superior o lateral se considera desventajosa debido a la suspensión de polvo, disturbio del lecho y avivamiento del fuego requerido adicionalmente.

Con una buena regulación de la velocidad de combustión a través de la carga apropiada, el ajuste del puerto de aire y el uso de un quemador de ignición o "primario", la necesidad de avivar el fuego puede ser reducida a la necesaria para el movimiento del lecho antes de cargar.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

La aplicación de estas reglas fundamentales de evaluación, combinadas con la admisión de aire secundario y con la pruebas de varias proporciones de las dimensiones de cámara y de los puertos, establecen los parámetros para determinar las proporciones de las cámaras de combustión y de mezclado de un incinerador de cámara múltiple. El efecto primario de un diseño adecuado, consiste en la obtención de un mayor grado de avance de la reacción de combustión de los componentes sólidos y volátiles del efluente combustible. El diseño de la cámara de combustión como una cámara de asentamiento, también ha hecho posible una reducción en las emisiones de ceniza volátil.

2.7 Ejemplos de incineradores.

2.7.1 Incineradores de basura en general.

Los incineradores de basura en general a los que se refiere este ejemplo, son los utilizados para basura proveniente de las residencias y los establecimientos comerciales e industriales.

La basura en este caso es definida como aquella que se compone por desechos combustibles, como papel seco o una mezcla variable en composición de papel seco y otros materiales, dentro de los siguientes límites (% en masa): papel seco (100); madera, fragmentos (50); follaje (30); y viruta, aserrín (10).

Básicamente, la disposición de la basura en general puede llevarse a cabo por la incineración o colocación en un vertedero. La incineración de los desechos depositados en el vertedero se realiza cada vez con menos frecuencia, ya que cada vez, más comunidades se hacen conscientes del problema que implica la contaminación del aire. Otros tipos de incineración van desde el uso de tambores perforados de 55 galones, incineradores de una sola cámara, incineradores de cámara múltiple, hasta los grandes incineradores municipales.

El proceso de incineración de los desechos comunes produce emisiones de ceniza volátil, humo, gases y olores. La ceniza volátil y los olores son indeseables debido a la molestia potencial que representa para los ocupantes de los negocios y residencias vecinas. El humo y los gases, además de ser potencialmente molestos, contribuyen al aumento de la contaminación del aire a través de la reducción de la visibilidad y la formación de smog, por medio de reacciones fotoquímicas con el aire.

Dado que los incineradores de una sola cámara ofrecen las ventajas de poder controlar la distribución del aire de combustión, así como la concentración del calor en virtud del encierro del fuego entre las paredes del refractario, estos incineradores se consideran significativamente más efectivos que un fuego abierto. Sin embargo, se ha encontrado que los incineradores de una cámara presentan emisiones de partículas que van de 14 a 35 lb/ton de material quemado. En contraste, la descarga de partículas de los incineradores de cámara múltiple bien diseñados, promedian 4.5 lb/ton de desecho quemado, lo cual significa que va de 1:10 a 1:4 veces la cantidad de contaminantes líquidos y sólidos emitidos por un incinerador de una sola cámara.

Las cantidades promedio de emisión de partículas, así como de la mayoría de contaminantes gaseosos emitidos por los incineradores de una cámara y de cámara múltiple, se presentan en la tabla 2.2.

En las figuras 2.6 y 2.7 se presentan diseños esquemáticos de incineradores de cámara múltiple utilizados para esta aplicación. Los tipos de construcción y fabricación son los típicos; se muestran con aislamiento de ladrillo refractario y paredes exteriores de ladrillo común. No son indicados detalles estructurales debido a que el reforzamiento y soporte de paredes, arcos y chimenea dependen en gran medida del tamaño y tipo de construcción de la unidad requerida.

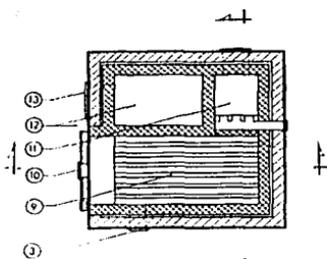
Tabla 2.2 Comparación de las emisiones de los incineradores de un sola cámara y de cámara múltiple.

Tipo de emisión	Incinerador de cámara múltiple	Incinerador de una sola cámara
Materia en forma de partículas, g / scf [*] a un 12% de CO ₂ .	0.11	0.9
Materia volátil, g / scf a un 12% de CO ₂ .	0.07	0.5
Total, g / scf a un 12% de CO ₂ .	0.19	1.4
Total, lb/ ton de desecho quemado.	3.50	23.8
Monóxido de carbono, lb/ ton de desecho quemado.	2.90	197 a 991
Amoniaco, lb/ ton de desecho quemado.	0.00	0.9 a 4
Ácido orgánico (acético), lb/ ton de desecho quemado.	0.22	< 3
Aldehídos (formaldehído), lb/ ton de desecho quemado.	0.22	5 a 64
Oxidos de nitrógeno, lb/ ton de desecho quemado.	2.50	< 0.1
Hidrocarburos, (hexano), lb/ ton de desecho quemado.	< 1	-----

Fuente: Referencia 5, p. 445.

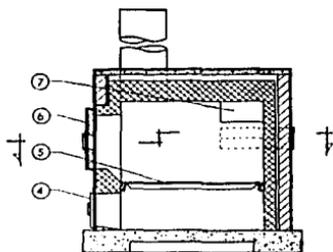
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

* scf es la abreviatura de *standard cubic feet*, es decir pies cúbicos estándar.

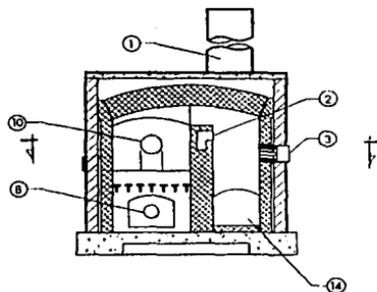


Vista de Planta

1. Chimenea.
2. Puerto de aire secundario.
3. Quemadores de gas.
4. Puerta de limpieza del vertedero de ceniza.
5. Parrilla.
6. Puerta de carga.
7. Puerto de flama.
8. Puerto de aire bajo fuego.
9. Cámara de ignición.
10. Puerto de aire sobre fuego.
11. Cámara de mezclado.
12. Cámara de combustión.
13. Puerta de limpieza.
14. Puerto de la pared cortina.



Elevación
Vista Lateral

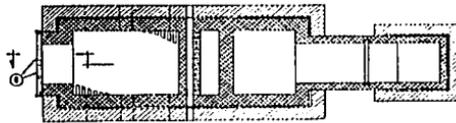


Elevación
Vista Posterior

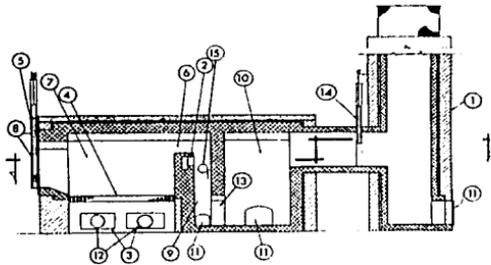
Figura 2.6 Diseño esquemático de incineradores de basura en general,
de cámara múltiple del tipo de retorta.

Fuente: Referencia 5, p. 448.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN



Vista de Planta



Vista Lateral

- | | |
|---|---------------------------------|
| 1. Chimenea. | 8. Puertos de aire bajo fuego. |
| 2. Puerto de aire secundario. | 9. Cámara de mezclado. |
| 3. Puertas de limpieza del vertedero de ceniza. | 10. Cámara de combustión. |
| 4. Parrilla. | 11. Puertas de limpieza. |
| 5. Puerta de carga. | 12. Puertos de aire bajo fuego. |
| 6. Puerto de flama. | 13. Puerto de la pared cortina. |
| 7. Cámara de ignición. | 14. Vertedero. |
| 8. Puerto de aire sobre fuego. | 15. Quemadores de gas. |

Figura 2.7 Diseño esquemático de incineradores de basura en general, de cámara múltiple del tipo en línea.

Fuente: Referencia 5, p. 449.

TESIS
FALLA DE ORIGEN

2.7.2 Incineradores móviles.

Los incineradores de cámara múltiple móviles, proporcionan un método único para la disposición en sitio de los desechos combustibles. Estas unidades fueron construidas en número limitado, a finales de la década de los 50's en el condado de Los Ángeles, E. U. A. Fueron utilizados exitosamente para habilitar la tierra para la construcción de viviendas y otras actividades industriales, donde la instalación permanente de un incinerador o el transporte de los desechos a otro lugar para su disposición final, habría resultado menos económica. Aunque la eficiencia de estos incineradores desde el punto de vista técnico era adecuada, nunca lograron ser populares debido a la disponibilidad de métodos más económicos de disposición de residuos.

A primera vista uno podría decir que un incinerador estándar de cámara múltiple montado en un remolque puede servir de incinerador móvil. Esta aseveración es rápidamente refutada cuando las limitaciones en peso, tamaño, tiro y vibración, así como otros problemas inherentes a la construcción de un incinerador móvil, son examinadas más cercanamente. Aunque los incineradores móviles son diseñados con los mismos parámetros de un incinerador de cámara múltiple, éstos deben ser construidos con materiales ligeros. La máxima capacidad para el tipo de retorta, como el que se muestra en la figura 2.8, es de 500 lb/h. y para el tipo en línea, como el que se muestra en la figura 2.9, se limita a 1,000 lb/h.



Figura 2.8 Incinerador móvil con chimenea retráctil para 500 lb/h.

Fuente: Referencia 5, p. 453.

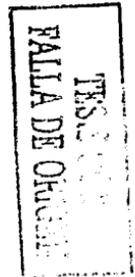
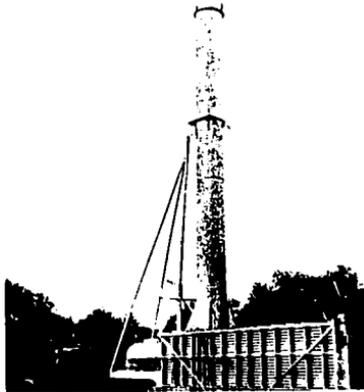


Figura 2.9 Incinerador móvil con chimenea retráctil para 1,000 lb/h.

Fuente: Referencia 5, p. 453.

2.7.3 Incineradores de residuos de madera.

Aunque una pequeña parte de los residuos de madera, generados por las industrias que trabajan con tal material, puede ser procesada para obtener productos útiles como leños para chimeneas hogareñas, tablillas pequeñas y papel, la mayor parte de estos residuos se disponen para ser incinerados en una hoguera o se conducen a un vertedero. La elección final del método de disposición, depende de la situación económica y de las regulaciones que existan en la localidad respecto a contaminación del aire.

Existen en general, tres formas de quemar residuos de madera, a saber:

- a) En un fuego abierto, es decir, quemar la pila de desechos sin una estructura circundante.
- b) Quemarlos en un incinerador de una sola cámara, incluyendo los tipos "cabaña de indio" y estructura de silo.
- c) Quemarlos en un incinerador de cámara múltiple.

De las tres opciones, la última es la opción más satisfactoria desde el punto de vista de contaminación del aire. El fuego abierto, en el que no se tiene control sobre el aire de combustión, produce más contaminantes del aire que un incinerador de una sola cámara con regulación del suministro del aire. Los incineradores del tipo "cabaña de indio" y estructura de silo difieren en cuanto a eficiencia de combustión y emisión de contaminantes del aire.

La contaminación del aire provocada por la incineración de residuos de madera puede ser reducida al mínimo, al emplear incineradores de cámara múltiple. Al promover la combustión completa, se produce considerablemente menos contaminación del aire de la que es emitida por los incineradores de una sola cámara o por un fuego abierto.

Los incineradores para quemar residuos de madera pueden ser tanto en línea como de retorta, como los que se muestran en las figuras 2.10 y 2.11. Los incineradores con capacidades menores de 500 lb/h, son usualmente construidos como de retorta. Las unidades que van de 500 a 1,000 lb/h, pueden ser tanto de retorta como en línea, mientras que se recomienda el arreglo en línea para aquellas unidades que exigen una capacidad mayor a las 1,000 lb/h, debido no solo a los costos inherentes al tipo de retorta sino también a las dificultades para el enfriamiento de las paredes internas. Un incinerador de silo de una sola cámara puede ser convertido a uno de cámara múltiple, añadiendo un horno portátil que consiste en una cámara de ignición y una de mezclado como se aprecia en las figuras 2.12 y 2.13.



Figura 2.10 Incinerador de cámara múltiple de residuos de madera el tipo en línea, para una capacidad de 2,000 lb/h (Metro Goldwyn Mayer, Inc., Culver City, Calif.).
Fuente: Referencia 5, p. 463.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

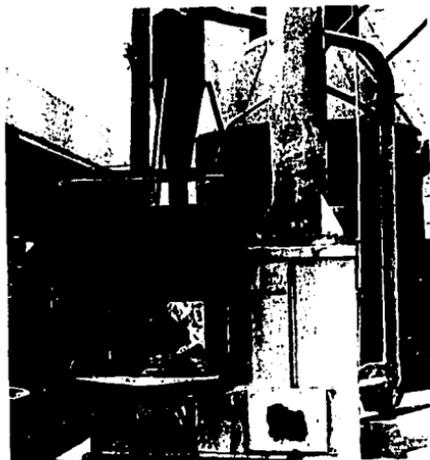


Figura 2.11 Incinerador de cámara múltiple de residuos de madera del tipo de retorta, para una capacidad de 150 lb/h (Acme Woodcraft, Los Ángeles, Calif.).

Fuente: Referencia 5, p. 463.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Figura 2.12 Incinerador de cámara múltiple del tipo en línea para 1,000 lb/h (Orban Lumbre Co., Pasadena, Calif.).

Fuente: Referencia 5, p. 464.

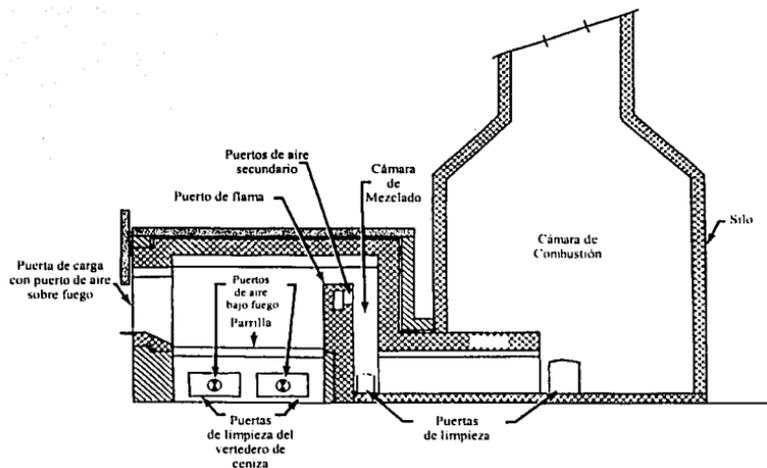


Figura 2.13 Diagrama esquemático de un incinerador de cámara múltiple del tipo en línea (conversión del tipo de silo).

Fuente: Referencia 5, p. 464.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.7.4 Incineradores cargados por la chimenea.

Los incineradores a los que se refiere esta sección, son aquellos en los que la chimenea es utilizada además como conducto para cargar los desechos, como se muestra en la figura 2.14. Por más de 40 años, han sido construidos incineradores de una sola cámara cargados por la chimenea, como una parte integral de construcciones departamentales. El incinerador es usualmente localizado en el centro de la construcción, para minimizar la distancia de los apartamentos a los conductos de carga localizados en cada piso. Ocasionalmente el incinerador puede ser localizado en un muro exterior, con los conductos de carga fuera de la construcción y adyacentes al balcón o plataforma de escape del fuego. Este tipo de incineradores también es empleado en escuelas, hospitales y oficinas.

Los incineradores cargados por la chimenea tienen una cámara de combustión que asemeja una caja, separada por la parrilla del vertedero del depósito de ceniza inferior. Se utilizan quemadores atmosféricos de gas localizados debajo de la parrilla en un principio, para la deshidratación de la basura y otros materiales húmedos. Se tiene una puerta de limpieza para la remoción de la ceniza del depósito inferior. Una puerta de carga encima de la parrilla, es utilizada para la ignición de los desechos y para alimentar la pila cuando se aproxima el final del periodo de combustión. La mayoría de las veces, ambas puertas permiten la admisión de aire sobre el fuego (sobre la parrilla) y bajo el fuego (bajo la parrilla).

Cuando empieza la ignición de los desechos en este tipo de incineradores, los residuos se queman muy rápidamente. La inspiración de aire durante este periodo inicial, es usualmente insuficiente con respecto a los requerimientos del proceso de combustión para un quemado rápido de los desechos secos, teniendo como consecuencia emisiones de humo negro. La turbulencia extrema de los gases concurrentes provoca la emisión de grandes cantidades de ceniza volátil (ceniza y papel carbonizado).

Una vez que ha pasado el periodo inicial, se desarrolla un tiro excesivo como resultado de una alta temperatura de los gases en la chimenea y del largo de ésta. La cantidad de aire admitido por los puertos resulta mayor al necesitado por el proceso de combustión y la temperatura en la cámara de combustión disminuye gradualmente conforme el exceso de aire se incrementa. Como el proceso continúa, los gases combustibles, aceites, alquitrán y grasas producidas por la combustión a baja temperatura y por la destilación destructiva que se efectúa dentro de la pila, pasan hacia la chimenea sin que se quemen completamente, en forma de humo blanco o ligeramente gris.

El uso de quemadores bajo la parrilla, produce la entrada de ceniza volátil en los gases calientes que pasan a través de y alrededor del lecho de combustible. Este problema se ve posteriormente agravado por el almacenamiento de la pila de desechos quemados bajo condiciones excesivas de tiro, provocando la descarga por la chimenea de grandes cantidades de ceniza volátil. El problema es causado por la carga de los desechos por debajo de la chimenea durante el periodo de combustión, en el que se esparce y humea la pila de desechos, provocando emisiones severas de ceniza volátil y producción de humo.

Existen tres métodos básicos de modificar un incinerador cargado por la chimenea, para evitar la descarga de contaminantes del aire. Dos de estos métodos involucran la adición de un post-quemador al incinerador. El tercero consiste en la instalación de un incinerador de cámara múltiple. Para los tres métodos son esenciales los instrumentos para regular el tiro de la chimenea y un control efectivo de la carga durante el periodo de combustión.

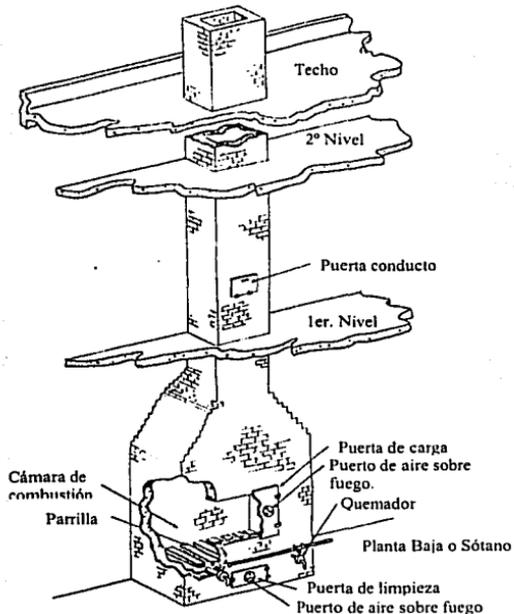


Figura 2.14 Incinerador cargado por la chimenea.
Fuente: Referencia 5, p. 472.

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

2.7.5 Incineradores de residuos patológicos.

Los residuos patológicos se definen como todas aquellas partes de órganos, huesos, músculos, otros tejidos y residuos orgánicos de origen animal o humano. Esta sección hace referencia solamente a aquellos incineradores utilizados para quemar este tipo de residuos y a los hornos crematorios, los cuales tienen un diseño similar al de los incineradores de residuos patológicos.

Químicamente, los residuos patológicos se componen principalmente de carbono, hidrógeno y oxígeno. Pequeñas cantidades de muchos minerales, junto con trazas de nitrógeno también se encuentran presentes. Físicamente, estos residuos consisten de materiales con estructura celular y fluidos. Cada célula contiene agua, junto con los demás elementos que la componen. El cabello, el tejido adiposo, el tejido proteínico y los huesos, están formados por células en diferentes proporciones, en diferentes animales. La sangre y otros fluidos en los órganos son agua casi en su totalidad.

La composición química promedio de todos los animales, exceptuando la proporción de agua que contienen, es muy similar en todos los animales. La proporción de agua presente, comparada con el peso total de los animales, varía ampliamente entre animales diferentes y entre varias condiciones de descomposición del animal. En la tabla 2.3 se listan las propiedades químicas promedio de los residuos patológicos así como datos de combustión, los cuales se ha encontrado que proporcionan buenos resultados cuando son utilizados en el diseño de este tipo de incineradores. La cremación de restos humanos difiere de otra incineración patológica sólo en que el cuerpo usualmente se puede encontrar dentro de un ataúd de madera.

Los incineradores de residuos patológicos pueden producir emisiones de ceniza volátil, humo, gases y olores que pueden ser inaceptables. La emisión de ceniza volátil es usualmente menor, mientras que la emisión de olores puede ser muy grande. El humo visible que genera este tipo de incinerador es altamente repulsiva para la mayoría de la gente y resulta especialmente indeseable cuando se trata de un incinerador crematorio.

Los incineradores que no son diseñados adecuadamente, con temperaturas, mezclado y tiempos de residencia inadecuados, presentan emisiones inaceptables de contaminantes. La tabla 2.4 presenta valores de emisiones medidas para ocho incineradores de cámara múltiple de residuos patológicos.

Existen muchas configuraciones posibles que pueden ser usadas en la construcción de este tipo de incineradores; algunas son ilustradas por las figuras 2.15, 2.16 y 2.17.

En los capítulos 4 y 5 se presentarán ampliamente las características de este tipo de incinerador, dado que el diseño del mismo es el tema que ocupa este trabajo de tesis.

Tabla 2.3 Composición química de residuos patológicos y datos de combustión.

Análisis de un animal muerto completo			
Constituyente	Como fue cargado % en masa	Combustible libre de ceniza % en masa	
Carbono	14.7	50.80	
Hidrógeno	2.7	9.35	
Oxígeno	11.5	39.85	
Agua	62.1	---	
Nitrógeno	Trazas	---	
Ceniza mineral	9	---	
Fórmula empírica para el combustible seco - $C_3H_{10}O_3$			
Datos de combustión (basados en una libra de combustible libre de ceniza).			
Constituyente	Cantidad Lb	Volumen Scf.	
Aire teórico	7.028	92.40	
Aire saturado 40% a 60° F	7.059	93.00	
Gas de chimenea con aire teórico saturado un 40%	} CO_2 N_2 H_2O formada H_2O del aire	1.858	16.06
		5.402	73.24
		0.763	15.99
		0.031	0.63
Total de productos de combustión	8.054	105.92	
Calor de combustión bruto	8,820 BTU / lb		

Fuente: Referencia 5, p. 472.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 2.4 Emisiones de los incineradores de residuos patológicos sin lavador de gases.

Tipo de residuo	Número de Prueba							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Tejido Humano	Tejido Humano	Animales	Animales	Animales	Animales	Animales	Animales
Velocidad de destrucción del lote para secar huesos y ceniza, lb/h	19.2	64	62	35	99	137	149	160
Partículas, g / scf g / scf (12% CO ₂) (CO ₂ sólo de los residuos)	0.014 0.240	0.017 0.400	0.032 0.183	0.015 0.106	0.0936 0.2950	0.013 0.260	0.024 0.240	0.0202 0.1350
Ácidos orgánicos, g / scf lb/h lb/ton	0.006 0.010 1.04	0.0003 0.003 0.093	0.010 0.034 1.10	N. A. N. A. N. A.	0.013 0.050 1.01	0.0033 0.075 1.10	0.0018 0.012 0.161	0.0002 0.002 0.025
Aldehídos, g / scf lb/h lb/ton	N. A. N. A. N. A.	0.008 0.076 2.37	0.013 0.041 1.32	0.004 0.014 0.80	0.006 0.020 0.40	0.0032 0.072 1.05	0.012 0.082 1.10	0.010 0.12 1.50
Oxidos de Nitrógeno ppm lb/h lb/ton	42.7 0.085 8.86	35 0.29 9.05	134 0.37 12.0	111 0.29 16.6	131 0.099 2.00	60 1.2 17.5	165 0.94 12.6	102 1.1 13.7
Emisiones de chimenea: Opacidad, % Tiempo, min	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Combustible auxiliar: Primario, scfh. [*] Mezclado, scfh	190 185	700 230	530 170	600 300	640 260	800 600	1020 480	1800 500
Flujo de gas, scfh	260	1150	380	370	450	2640	780	1400
Temperatura del gas, °F	410	307	590	950	800	346	1020	910
Gases de chimenea, % CO ₂ O ₂ CO N ₂ H ₂ O	3.4 12.5 0.0009 74.0 10.1	2.1 16.5 0.0 74.8 6.6	5.6 9.8 0.004 71.5 13.1	6.3 7.7 0.0 71.9 14.1	7.6 4.8 0.02 67.2 20.4	1.6 17.7 0.0 75.5 5.2	4.9 10.8 0.0 71.2 13.1	5.0 10.8 0.0 73.1 11.1

Fuente: Referencia 5, p. 485.

TESIS
FALLA DE ORIGEN

* scfh es la abreviatura de *standard cubic feet per hour*, es decir pies cúbicos estándar por hora.

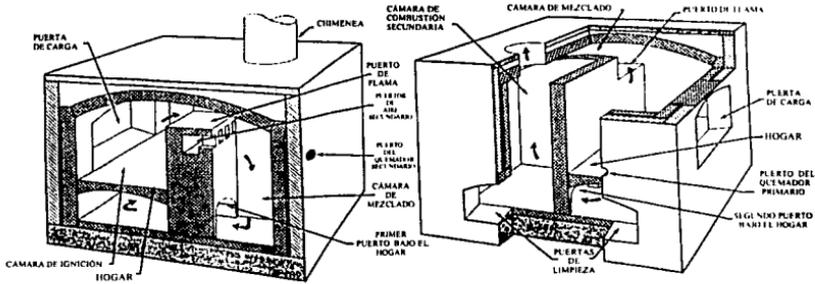
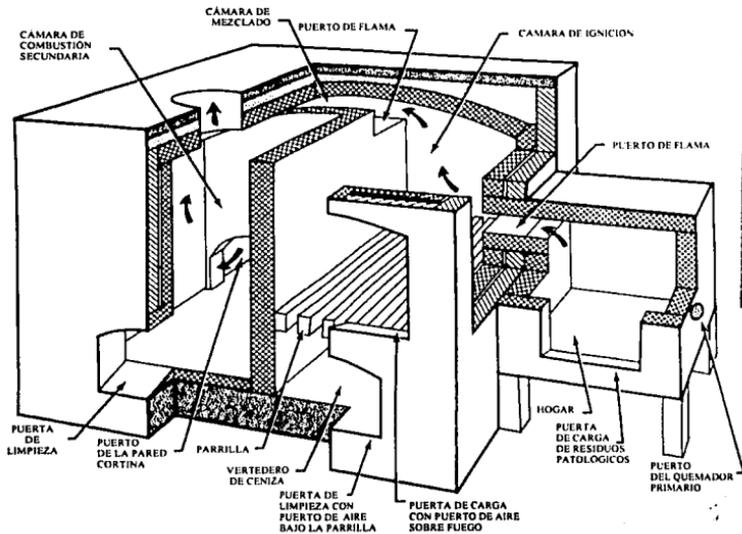


Figura 2.15 Incinerador de residuos patológicos de cámara múltiple.
Fuente: Referencia 5, p. 490.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 2.16 Incinerador de residuos patológicos de cámara múltiple del tipo de retorta.
Fuente: Referencia 5, p. 490.

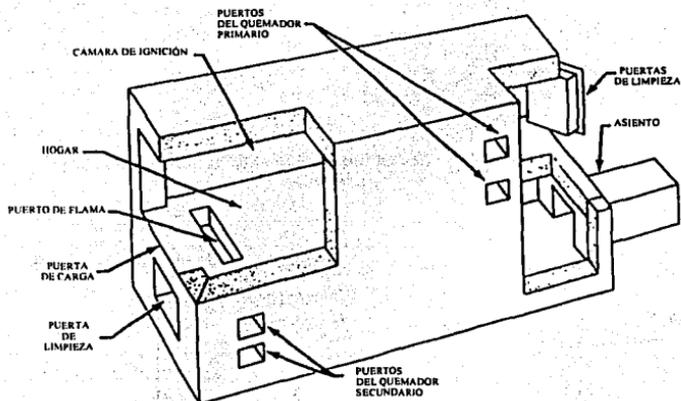


Figura 2.17 Horno crematorio del tipo en línea.
Fuente: Referencia 5, p. 491.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 3

REGLAMENTACIÓN SOBRE INCINERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS.

3.1 Sistema Regulatorio Mexicano.

El sistema regulatorio mexicano está estructurado de forma similar a su contraparte en EUA en materia ambiental de jurisdicción exclusiva federal, ya que se basan en la Constitución Política y la legislación federal.

El gobierno federal tiene jurisdicción exclusiva en las siguientes materias ambientales:

- Desarrollo de la Política Ecológica Nacional.
- Ejecución de las regulaciones ambientales dentro de la jurisdicción federal.
- Asuntos ambientales los cuales involucren o afecten a 2 o más estados o a otro país.
- La promulgación de Normas Oficiales Mexicanas (NOM).
- La regulación de actividades de alto riesgo y,
- La regulación de materiales y residuos peligrosos.

Los estados y municipios tienen jurisdicción sobre todos los asuntos ambientales dentro de sus respectivos territorios, es decir sobre el desarrollo de políticas ambientales locales, las cuales deben cumplir o exceder aquellas establecidas a nivel federal; la regulación de actividades consideradas de alto riesgo, pero que poseen potencial adverso de impacto ambiental; la prevención y control de la contaminación dentro de sus respectivos territorios; la regulación local de agua; y la regulación del manejo y disposición de residuos sólidos no peligrosos.

La jurisdicción concurrente entre el gobierno federal y los gobiernos estatales y municipales está considerada en el desarrollo de políticas ambientales congruentes y en la aplicación de la legislación, regulaciones ambientales y normas NOM a nivel local. Además, el gobierno federal está facultado para realizar acuerdos de coordinación con estados y municipios para facilitar la descentralización de las actividades regulatorias.

El marco jurídico en esta materia se encuentra estructurado como se presenta en el esquema de la Figura 3.1. Las bases constitucionales se hallan en los Artículos 4 (que establece el derecho a la protección de la salud), 25 (que establece las bases y alcances para un desarrollo sustentable), 27 (establece la función social de la propiedad con el objeto de ordenar los asentamientos humanos, preservar y restaurar el equilibrio ecológico, evitar la destrucción de los elementos naturales y evitar daños en perjuicio de la sociedad) y 73 (que establece las facultades del Congreso de la Unión para dictar leyes que establezcan la congruencia de los tres niveles de gobierno en materia de protección al ambiente).

La actual legislación ambiental mexicana se basa en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), sus Reglamentos y las Normas Oficiales Mexicanas en la materia.

Marco Jurídico en Materia Ambiental

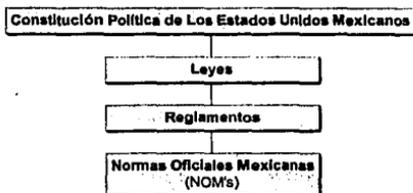


Figura 3.1 Marco Jurídico Mexicano en Materia Ambiental.

Las provisiones de la legislación actual se aplican en la realización de inspecciones, la ejecución de medidas de seguridad, determinación de violaciones y sus sanciones respectivas, y procedimientos administrativos para apelar bajo estas regulaciones.

La LGEEPA es un completo estatuto ambiental que direcciona el espectro total de las emisiones ambientales, incluyendo la contaminación en todos los medios, conservación de recursos naturales, estimación de impacto y riesgo ambiental, declaración de zonas ecológicas y las posibles sanciones acreditables.

Los reglamentos suplementan y expanden la LGEEPA en su respectivo medio. Actualmente existen cinco Reglamentos Federales que direccionan el control de la contaminación del aire, residuos peligrosos, ruido, impacto ambiental y emisiones de automóviles en el D. F. Estos reglamentos intentan establecer claramente los mecanismos y procedimientos administrativos para cumplir los mandatos de la LGEEPA en las cinco áreas.

Los Reglamentos dependen de estándares técnicos ecológicos cuantitativos y criterios ecológicos para determinar su cumplimiento, los cuales se encuentran en las Normas Oficiales Mexicanas.

Las normas atmosféricas se concentran en las emisiones provenientes de calentadores a fuego directo y en las emisiones orgánicas, excepto por el requerimiento de que las emisiones no resulten tóxicas a las concentraciones ambientales. Las normas también incluyen estándares de calidad del aire, pero hasta el momento no existe una Norma Oficial Mexicana que regule como tal, la incineración de residuos sólidos, sino que existen varias normas que conciernen a esta práctica, que deben cumplirse invariablemente y un proyecto de Norma Oficial Mexicana que no ha sido aprobado todavía. Enseguida se presentan los aspectos relevantes de cada una de estas normas, así como algunos artículos de la (LGEEPA) y del Reglamento de la misma ley en materia de prevención y control de la contaminación a la atmósfera.

TESIS COPI
FALLA DE COPIA

3.2 Norma Oficial Mexicana NOM-043-ECOL-1993.

El objeto de la norma citada consiste en establecer los niveles máximos permisibles de *emisión*³ a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de *fuentes fijas*. Es de observancia obligatoria para los responsables de las fuentes fijas que emitan partículas sólidas a la atmósfera, con la excepción de las que se rigen por normas oficiales mexicanas específicas.

Para efectos de esta norma se consideran *zonas críticas* por las altas concentraciones de contaminantes de la atmósfera que registran, las *Zonas Metropolitanas de la Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara*, los centros de población de Coahuila-Coahuila-Coahuila, Estado de Veracruz; Irapuato-Celaya-Salamanca, Estado de Guanajuato; Tula-Vito-Aspasco, Estados de Hidalgo y de México; Corredor Industrial de Tampico-Madero-Altamira, Estado de Tamaulipas y la zona fronteriza norte.

Los niveles máximos de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de las fuentes fijas, de acuerdo con el *flujo de gases*, son los que se establecen en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas.

Flujo de gases m ³ /min	Zonas críticas mg/m ³	Resto del país mg/m ³
5	1536	2304
10	1148	1722
20	858	1287
30	724	1086
40	641	962
50	584	876
60	541	811
80	479	719
100	437	655
200	326	489
500	222	333
800	182	273
1,000	166	249
3,000	105	157
5,000	84	127
8,000	69	104
10,000	63	95
20,000	47	71
30,000	40	60
50,000	32	48

Fuente: Referencia 6, p.7.

³ Para conocer el significado de los términos en *itálicas*, consultar el Glosario de términos al final del presente trabajo de Tesis.

La interpolación y la extrapolación de los datos no contenidos en la tabla para zonas críticas, está dada por las siguientes ecuaciones:

Para zonas críticas:

$$E = \frac{3020}{C^{0.42}}$$

Para el resto del país:

$$E = \frac{4529.7}{C^{0.42}}$$

donde:

E = Nivel máximo permisible en miligramos por metro cúbico normal.

C = Flujo de gases en la fuente en metros cúbicos normales por minuto.

La emisión está referida a condiciones normales de temperatura 298 K (25° C) y presión de 101,325 pascales (760 mm Hg), base seca⁴.

3.3 Norma Oficial Mexicana NOM-085-ECOL-1994.

Esta norma aplica para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones. Establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, así como los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión y los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión.

Es de observancia obligatoria para el uso de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como para los equipos de generación eléctrica que utilizan la tecnología de *ciclo combinado*. Será obligatoria igualmente sólo en emisiones de bióxido de azufre, para el uso de los equipos de calentamiento directo por combustión.

Se exceptúan los equipos domésticos de calentamiento de agua, de calefacción y las estufas utilizados en casas habitación, escuelas, hospitales y centros recreativos, en las industrias cuando estos equipos sean utilizados en las áreas de servicios al personal; sin embargo, aplicará para el caso de industrias, comercios y servicios, cuando los equipos y sistemas de combustión en lo individual o la suma de varios, rebasen los 10 cc de capacidad nominal en cada instalación.

También se exceptúan los quemadores industriales de campo; el sistema de regeneración de las plantas de desintegración catalítica; las plantas recuperadoras de azufre y

⁴ Debe tomarse en cuenta que en la NOM citada, tales son las condiciones normales de presión y temperatura aunque comúnmente éstas se manejan como 0 °C y 760 mmHg.

los procesos de calentamiento directo que producen bióxido de azufre adicional al proveniente del combustible.

Los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, óxidos de nitrógeno y bióxido de azufre de los equipos de combustión de las fuentes fijas a que se refiere esta Norma Oficial Mexicana, son los establecidos en las tablas 3.2 y 3.3.

Las fuentes fijas cuya capacidad total en equipos de combustión sea mayor a 43,000 MJ/h, deberán respaldar el total de las emisiones de bióxido de azufre con certificados de emisión, los cuales serán asignados con base en los niveles regionales establecidos en la tabla 3.4 y no deberán sobrepasar los límites de emisión ponderada indicados en la tabla 3.3.

Los equipos de combustión existentes deberán cumplir con los límites de óxidos de nitrógeno consignados en la Tabla 3.2 y a partir de 1998 con los límites de la Tabla 3.3. Todo equipo de combustión nuevo deberá cumplir con los límites de emisiones de óxidos de nitrógeno consignados en la Tabla 3.3.

La operación de soplado que requieren los equipos de combustión de proceso continuo que utilicen combustibles sólidos ó líquidos, deberá efectuarse con una frecuencia de por lo menos una vez por turno o de acuerdo a las especificaciones del fabricante. El tiempo de soplado no deberá exceder de 25 minutos por soplador o deshollinador, cuando se trate de equipos con capacidad mayor a 43,000 MJ / h y de 10 minutos para los menores.

Dentro de los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de combustión, se establece lo siguiente:

Requisitos:

Los responsables de los equipos de combustión de las fuentes fijas referidas en esta Norma Oficial Mexicana deben observar, según proceda, los siguientes requisitos de operación:

a) Llevar una bitácora de operación y mantenimiento de los equipos de combustión, medición y análisis de las emisiones y de los certificados de calidad del combustible empleado.

b) La bitácora deberá tener como mínimo la siguiente información:

Control de operación: fecha, turno, hora de reporte, presión de vapor, temperatura de gases, temperatura del agua de alimentación, temperatura y presión de combustión, color de humo, purga de fondo, purga de nivel, disparo válvula de seguridad, consumo de combustible; controles: de presión, bomba agua de alimentación paro y arranque, paro por fallo de flama.

Control de emisiones contaminantes: eficiencia, temperatura de gases, aire en exceso, O₂, CO₂, opacidad de humo; datos del combustible empleado según certificado;

análisis de emisiones según tabla 3.5: densidad de humo, partículas (PST), bióxido de azufre, óxidos de nitrógeno; análisis de agua de alimentación.

La medición y análisis de las emisiones deben realizarse con la frecuencia y métodos que se indican en la tabla 3.5.

Los métodos equivalentes a que se refiere la Tabla 3.5 tendrán que ser los que se consideran en la tabla 3.6, o algún otro que demuestre la misma precisión con previa autorización de la autoridad competente.

Condiciones:

Los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera establecidos en las Tablas 3.2 y 3.3 de la presente Norma Oficial Mexicana sólo podrán rebasarse en el caso de:

Operaciones de arranque del equipo de combustión, siempre que no excedan 15 minutos y la operación no se repita más de dos veces al día en equipos de capacidad menor a 43,000 MJ/h y 18 horas para alcanzar la máxima carga o capacidad en los equipos mayores de 43,000 MJ/h.

Cuando por las características de los procesos y / o de los equipos de combustión se justifique técnicamente que se requiere mayor tiempo para su arranque, lo deberán comunicar a la autoridad competente.

Para la presente norma oficial mexicana se consideran los poderes caloríficos de los combustibles fósiles sólidos, líquidos y gaseosos indicados en la Tabla 3.7.

Tabla 3.2 Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, óxidos de nitrógeno y bióxido de azufre de los equipos de combustión de fuentes fijas (1994 al 31 de diciembre de 1997).

CAPACIDAD DE EQUIPO DE COMBUSTIÓN	TIPO DE COMBUSTIBLE EMPLEADO	DENSIDAD DEL HUMO	PARTÍCULAS (PST) mg/m ³ (kg/10 ⁶ kcal) (1)			BIÓXIDO DE AZUFRE ppm V (kg/10 ⁶ kcal) (1)			ÓXIDOS DE NITRÓGENO ppm V (kg/10 ⁶ kcal) (1)			EXCESO DE AIRE DE COMBUSTIÓN % volumen (3)
		Número de mancha u opacidad	ZMCM	ZC	RP	ZMCM	ZC (4)	RP	ZMCM	ZC (2)	RP	
Hasta 5,250	Combustible o gasóleo	4	NA	NA	NA	1100 (4.08)	2100 (7.80)	2600 (9.81)	NA	NA	NA	60
	Otros líquidos	3	NA	NA	NA	1100 (4.08)	2100 (7.81)	2600 (9.81)	NA	NA	NA	
	Gaseosos	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
De 5,250 a 43,000	Líquidos	NA	100 (0.142)	425 (0.604)	600 (0.852)	1100 (4.08)	2100 (7.80)	2600 (9.81)	220 (0.588)	300 (0.801)	400 (1.064)	50
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	220 (0.563)	300 (0.767)	400 (1.023)	
De 43,000 a 110,000	Líquidos	NA	100 (0.142)	425 (0.604)	550 (0.781)	1100 (4.08)	2100 (7.81)	2600 (9.81)	180 (0.481)	300 (0.801)	400 (1.069)	40
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	180 (0.460)	300 (0.767)	400 (1.023)	
Mayor de 110,000	Sólidos	NA	70 (0.105)	325 (0.496)	435 (0.664)	1100 (4.32)	2100 (8.24)	2600 (9.81)	160 (0.449)	280 (0.785)	400 (1.122)	30
	Líquidos	NA	70 (0.099)	325 (0.462)	500 (0.710)	1100 (4.12)	2100 (7.81)	2600 (9.81)	160 (0.427)	280 (0.748)	400 (1.069)	
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	160 (0.409)	280 (0.716)	400 (1.023)	

Fuente: Referencia 7, p.26.

* Notas y significado de siglas en la siguiente página.

YESIS CON
FALLA DE ORIGEN

NOTAS:

- (1) Concentraciones referidas a 25 °C, 760 mm Hg, 5 % de oxígeno en volumen y base seca. Entre paréntesis se expresa el equivalente de la concentración en unidades de $\text{kg}/10^6 \text{ kcal}$.

El factor para corregir el O_2 a la base del 5 % de oxígeno, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$E_r = \frac{21 - O_r}{21 - O_m} \cdot E_m$$

Donde:

E_r = Emisión calculada al valor de referencia del O_2

E_m = Emisión medida (NO_x ó CO)

O_m = Valor medido para el O_2

O_r = Nivel de referencia para el O_2

- (2) Se refiere únicamente a las Zonas Metropolitanas de Monterrey y Guadalajara y a las Ciudades de Tijuana, Baja California y Cd. Juárez, Chihuahua.
- (3) Determinado con la siguiente ecuación y medido antes del precalentador de aire o de cualquier infiltración que diluya los gases de combustión:
 $EA = (\text{O}_2 - 0.5 \text{ CO}) 100 / (0.264 \text{ N}_2 - \text{O}_2 + 0.5 \text{ CO})$; Donde: O_2 , CO y N_2 corresponden al por ciento en volumen de oxígeno, monóxido de carbono y nitrógeno respectivamente, contenidos en los gases de combustión en base seca.
- (4) Para efectos del cumplimiento de los límites del dióxido de azufre, el corredor industrial Tampico-Madero-Altamira en el Estado de Tamaulipas deberá cumplir con el valor establecido para el resto del país.

SIGNIFICADO DE LAS SIGLAS:

ZMCM Zona Metropolitana de la Ciudad de México.
 RP Resto del País.

ZC Zonas Críticas.
 NA No Aplica.

Tabla 3.3 Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, óxidos de nitrógeno y bióxido de azufre de los equipos de combustión de fuentes fijas (1° de enero de 1998 en adelante).

CAPACIDAD DEL EQUIPO DE COMBUSTION (t/h)	TIPO DE COMBUSTIBLE EMPLEADO	DENSIDAD DE HUMO	PARTÍCULAS (PST)* mg/m ³ (kg/10 ⁶ kcal) (1)			BIÓXIDO DE AZUFRE ppm V (kg/10 ⁶ kcal) (1)			ÓXIDOS DE NITRÓGENO ppm V (kg/10 ⁶ kcal) (1)			EXCESO DE AIRE DE COMBUSTIÓN % volumen (4)
			Número de mancha u opacidad	ZMCM	ZC (2)	RP	ZMCM	ZC (2)	RP	ZMCM	ZC (3)	
Hasta 5,250	Combustible o gasóleo	3	NA	NA	NA	550 (2.04)	1,100 (4.08)	2,200 (8.16)	NA	NA	NA	50
	Otros líquidos	2	NA	NA	NA	550 (2.04)	1,100 (4.08)	2,200 (8.16)	NA	NA	NA	
	Gaseosos	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
De 5,250 a 43,000	Líquidos	NA	75 (0.106)	350 (0.497)	450 (0.639)	550 (2.04)	1,100 (4.08)	2,200 (8.16)	190 (0.507)	190 (0.507)	375 (1.0)	40
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	190 (0.486)	190 (0.486)	375 (0.959)	
De 43,000 a 110,000	Líquidos	NA	60 (0.085)	300 (0.426)	400 (0.568)	550 (2.04)	1,100 (4.08)	2,200 (8.16)	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	30
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	110 (0.281)	110 (0.281)	375 (0.959)	
Mayor de 110,000	Sólidos	NA	60 (0.090)	250 (0.375)	350 (0.525)	550 (2.16)	1100 (4.31)	2200 (8.16)	110 (0.309)	110 (0.309)	375 (1.052)	25
	Líquidos	NA	60 (0.085)	250 (0.355)	350 (0.497)	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	110 (0.281)	110 (0.281)	375 (0.959)	

Fuente: Referencia 7, p.28.

NOTAS:

* Notas y significados de siglas en la siguiente página.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN.

- (1) Concentraciones referidas a 25° C, 760 mm Hg, 5% de oxígeno en volumen y base seca. Entre paréntesis se expresa el equivalente de la concentración en unidades de kg/10⁶ kcal.

El factor para corregir el O₂ a la base del 5 % de oxígeno, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$E_r = \frac{21 - O_r}{21 - O_m} * E_m$$

Donde:

E_r = Emisión calculada al valor de referencia del O₂

E_m = Emisión medida (NOx ó CO)

O_m = Valor medido para el O₂

O_r = Nivel de referencia para el O₂

- (2) Zonas críticas (especificadas en el punto 4.22 de esta norma).
(3) Se refiere únicamente a la Zonas metropolitanas de las ciudades de Monterrey y Guadalajara y las ciudades de Tijuana, Baja California y Cd. Juárez, Chihuahua.
(4) Determinado con la siguiente ecuación y medido antes del precalentador de aire o de cualquier infiltración que diluya los gases de combustión:

EA = (O₂ - 0.5 CO) 100/(0.264 N₂ - 0₂ + 0.5 CO); donde O₂, CO y N₂ corresponden al por ciento en volumen de oxígeno, monóxido de carbono y nitrógeno respectivamente contenidos en los gases de combustión en base seca.

SIGNIFICADO DE LAS SIGLAS:

ZC Zonas Críticas

NA No Aplica.

ZMCM

RP

Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Resto del país

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3.4 Niveles regionales establecidos para la emisión de bióxido de azufre.

REGION	EMISION DE SO ₂ (Kg/10 ⁶ Kcal)
Zona Metropolitana de la Ciudad de México	0.36
Zonas críticas	1.44

Fuente: Referencia 7, p.17.

Tabla 3.5 Medición y Análisis de gases de combustión.

CAPACIDAD DEL EQUIPO DE COMBUSTIÓN MJ/h	PARÁMETRO	FRECUENCIA MÍNIMA DE MEDICIÓN	TIPO DE EVALUACIÓN	TIPO DE COMBUSTIBLE
Hasta 5,250	densidad de humo	Una vez cada 3 meses	Puntual (3 muestras); mancha de hollín	Líquido y gas
	CO ₂ , CO, O ₂ , N ₂	Una vez cada 3 meses	Puntual (3 muestras); ver tabla 3.6	Líquido y gas
	SO ₂	Una vez cada 3 meses	Medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor	Líquido
De 5,250 a 43,000	Partículas suspendidas totales	Una vez por año	Isocinético (mínimo durante 60 minutos); 2 muestras definitivas	Líquido
	NO _x	Una vez por año	Continuo (4); quimiluminiscencia o equivalente	Líquido y gas
	SO ₂	Una vez por año	Medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor	Líquido
	CO ₂ , CO, O ₂ , N ₂	Diario	Puntual (3 muestras); ver tabla 3.6	Líquido y gas
De 43,000 a 110,000	Partículas suspendidas totales	Una vez por año	Isocinético (mínimo durante 60 minutos); 2 muestras definitivas	Líquido
	NO _x	Una vez cada 6 meses	Continuo, quimiluminiscencia o equivalente	Líquido y gas
	SO ₂	Una vez por año	Medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor	Líquido
	CO ₂ , CO, O ₂ , N ₂	Una vez por turno	Puntual (3 muestras); ver tabla 3.6.	Líquido y gas

Tabla 3.5 Medición y Análisis de gases de combustión (continuación).

CAPACIDAD DEL EQUIPO DE COMBUSTIÓN MJ/h	PARÁMETRO	FRECUENCIA MÍNIMA DE MEDICIÓN	TIPO DE EVALUACIÓN	TIPO DE COMBUSTIBLE
Mayor de 110.000	Partículas suspendidas totales	1 vez cada 6 meses	Isocinético (mínimo durante 60 minutos); 2 muestras definitivas	sólido, líquido
	NO _x	permanente (1)	Continuo; quimiluminiscencia o equivalente	sólido, líquido y gas.
	O ₂	permanente	Continua; campo magnético o equivalente, con registrador como mínimo ó equivalente	líquido y gas
	SO ₂	una vez por año	Medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor	sólido, líquido

NOTAS:

(1) El monitoreo continuo de NO_x será permanente en las zonas metropolitanas de las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey; con una duración de cuando menos 7 días una vez cada 3 meses en las zonas críticas; y con una duración de cuando menos 7 días una vez cada seis meses en el resto del país. Deberán realizarse las mediciones correspondientes a equipos de calentamiento industriales del ambiente de cualquier capacidad en enero y octubre de cada año.

Fuente: Referencia 7. p. 30.

Tabla 3.6 Contaminantes y sus métodos de evaluación para fuentes fijas y métodos equivalentes.

Contaminante	Método de Evaluación	Método Equivalente	
Densidad de humo	Huella o mancha de hollín, opacidad	---	
Partículas suspendidas totales	Isocinético	---	
Óxidos de nitrógeno	Quimiluminiscencia	Infrarrojo no dispersivo	
Óxidos de carbono	Infrarrojo no dispersivo celdas electroquímicas* orsat (O ₂ , CO ₂ y CO)	---	
Oxígeno	Celdas electroquímicas paramagnéticos	Orsat (O ₂ , CO ₂ y CO) óxidos de zirconio (celdas electroquímicas)	
SO ₂	Medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor	Capacidad del equipo de combustión MJ/h	Hasta 5,250: vía húmeda (torino) infrarrojo no dispersivo celdas electroquímicas
			Mayores de 5,250: vía húmeda infrarrojo no dispersivo

* Se calcula el valor dado que no se obtiene por medición directa.

Fuente: Referencia 7, p. 34.

Tabla 3.7 Poder calorífico de combustibles.

COMBUSTIBLE	MJ/kg DE COMBUSTIBLE
Gas natural	52
Gas L.P.	48
Butano	49
Isobutano	45
Propano	50
Butileno	49
Propileno	49
Metano	55
Petróleo diáfano	46
Gasolina	47
Diesel	48
Gasóleo	42
Combustóleo pesado	42
Combustóleo ligero	43
Carbón mineral	Variable
Coque de petróleo	31

Fuente: Referencia 7, p. 35.

3.4 Norma Oficial Mexicana NOM-52-ECOL-1993.

Esta norma oficial mexicana establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. Indica el procedimiento a seguir por el generador de residuos para determinar si son peligrosos o no, el cual se muestra en la figura 3.1.

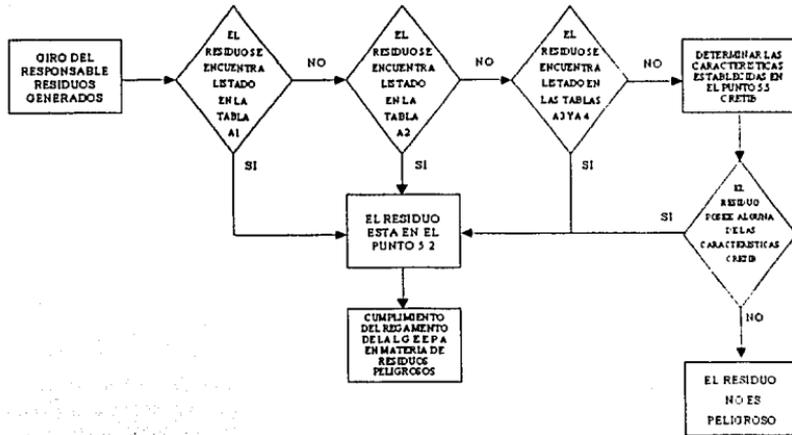


Figura 3.1. Diagrama de flujo para la identificación de residuos peligrosos.

Fuente: Referencia 8, Anexo 1 de la NOM.

Las tablas a las que se refiere son muy extensas en contenido, dado que listan todos aquellos residuos que se consideran peligrosos atendiendo a su fuente generadora, clasificándolos por giro industrial y por procesos, así como por fuente no específica. Estas tablas se presentan en la sección A del Apéndice que se encuentra al final del presente trabajo.

Además de los residuos peligrosos comprendidos en las tablas A1, A2, A3 y A4, se considerarán peligrosos aquellos que presenten una o más de las siguientes características: corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y /o biológico infecciosas (CRETIB); atendiendo a ciertos criterios a los que se refiere el punto 5.5 de la Norma y de los cuales sólo se menciona a continuación, el considerado para un residuo con características biológico infecciosas.

Un residuo con características biológico infecciosas se considera peligroso cuando el residuo contiene bacterias, virus u otros microorganismos con capacidad de infección o

cuando contiene toxinas producidas por microorganismos que causen efectos nocivos a seres vivos.

El punto 5.2 de la Norma dice:

Se consideran como peligrosos los residuos clasificados en las tablas 1 (tabla A1 del anexo), 2 (tabla A2 del anexo), 3 y 4 (tablas A3 y A4 del anexo), así como los considerados en el punto 5.5. En casos específicos y a criterio de la Secretaría de Desarrollo Social, podrán ser exceptuados aquellos residuos que habiendo sido listados como peligrosos en las tablas 1, 2, 3 y 4, puedan ser considerados como no peligrosos porque no excedan los parámetros establecidos para ninguna de las características indicadas en el punto 5.5.

Los residuos que hayan sido clasificados como peligrosos y los que tengan las características de peligrosidad conforme a esta norma oficial mexicana deberán ser manejados de acuerdo a lo previsto en el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos, las normas oficiales mexicanas correspondientes y demás procedimientos aplicables.

3.5 Norma Oficial Mexicana NOM-87-ECOL-1995.

Esta norma establece los requisitos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos biológico-infecciosos que se generen en establecimientos que presten atención médica, tales como clínicas y hospitales, así como laboratorios clínicos, laboratorios de producción de agentes biológicos, de enseñanza y de investigación, tanto humanos como veterinarios en pequeñas especies y centros antirrábicos y es de observancia obligatoria en dichos establecimientos, cuando éstos generen más de veinticinco kilogramos al mes o un kilogramo al día de los residuos peligrosos contemplados en esta Norma.

De acuerdo con lo establecido en la NOM-052-ECOL-1993, que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de octubre de 1993, se consideran residuos peligrosos biológico-infecciosos los siguientes:

- La sangre.
 - Los productos derivados de la sangre incluyendo, plasma, suero y paquete globular.
 - Los materiales con sangre o sus derivados aún cuando se hayan secado, así como los recipientes que los contienen o contuvieron.
- Los cultivos y cepas almacenadas de agentes infecciosos.
 - Los cultivos generados en los procedimientos de diagnóstico e investigación, así como los generados en la producción de agentes biológicos.
 - Los instrumentos y aparatos para transferir, inocular y mezclar cultivos.

- Los patológicos.
 - Los tejidos, órganos, partes y fluidos corporales que se remueven durante las necropsias, la cirugía o algún otro tipo de intervención quirúrgica.
 - Las muestras biológicas para análisis químico, microbiológico, citológico o histológico.
 - Los cadáveres de pequeñas especies animales provenientes de clínicas veterinarias, centros antirrábicos o los utilizados en los centros de investigación.
- Los residuos no anatómicos derivados de la atención a pacientes y de los laboratorios.
 - El equipo, material y objetos utilizados durante la atención a humanos o animales.
 - Los equipos y dispositivos desechables utilizados para la exploración y toma de muestras biológicas.
- Los objetos punzo cortantes usados o sin usar.
 - Los que han estado en contacto con humanos o animales o sus muestras biológicas durante el diagnóstico y tratamiento, incluyendo navajas, lancetas, jeringas, pipetas Pasteur, agujas hipodérmicas, de acupuntura y para tatuaje, bisturís, cajas de Petri, cristalería entera o rota, porta y cubre objetos, tubos de ensayo y similares.

Para efectos de esta Norma Oficial Mexicana, los establecimientos de atención médica se clasifican como se establece en la tabla 3.8.

Tabla 3.8 Clasificación de los establecimientos de atención médica.

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III
<ul style="list-style-type: none"> • Clínicas de consulta externa y veterinarias en pequeñas especies. • Laboratorios clínicos que realicen de 1 a 20 análisis al día. 	<ul style="list-style-type: none"> • Hospitales que tengan de 1 a 50 camas. • Laboratorios clínicos que realicen de 21 a 100 análisis al día. 	<ul style="list-style-type: none"> • Hospitales con más de 50 camas. • Laboratorios clínicos que realicen más de 100 análisis clínicos al día. • Laboratorios para la producción de biológicos. • Centros de enseñanza e investigación. • Centros antirrábicos.

Fuente: Referencia 3, p.8.

Los establecimientos referidos en la tabla anterior, además de cumplir con lo establecido en el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos, deberán cumplir con las siguientes fases de manejo de sus residuos:

- Identificación de los residuos y de las actividades que los generan.
- Envasado de los residuos generados.
- Recolección y transporte interno.
- Almacenamiento temporal.
- Recolección y transporte externo.
- Tratamiento.
- Disposición final.

A continuación se mencionan los aspectos que resultan de interés para efectos del presente trabajo, en cuanto a las fases de almacenamiento temporal, tratamiento y disposición final.

En cuanto a almacenamiento temporal:

Punto 6.4.1⁵ Se deberá destinar un área para el almacenamiento de los residuos peligrosos biológico-infecciosos.

Los establecimientos que correspondan al nivel I quedarán exentos del cumplimiento del punto 6.4.4, pudiendo ubicar los contenedores del punto 6.4.2 en el lugar más apropiado dentro de sus instalaciones de manera tal que no obstruyan las vías de acceso y sean movidos sólo durante las operaciones de recolección.

Punto 6.4.2 Los residuos peligrosos biológico-infecciosos envasados deberán almacenarse en contenedores con tapa y rotulados con el símbolo universal de riesgo biológico, con la leyenda "**PELIGRO, RESIDUOS PELIGROSOS BIOLÓGICO-INFECIOSOS**".

El periodo de almacenamiento temporal a temperatura ambiente estará sujeto al tipo de establecimiento, como sigue:

- Nivel I: hasta 7 días.
- Nivel II: hasta 96 horas.
- Nivel III: hasta 48 horas.

Los residuos patológicos, humanos o de animales, deberán conservarse a una temperatura no mayor de 4 °C.

⁵ Numeración utilizada en la Norma Oficial Mexicana correspondiente.

Punto 6.4.4 El área referida en el punto 6.4.1 debe:

Estar separada de las siguientes áreas: de pacientes, visitas, cocina, comedor, instalaciones sanitarias, sitios de reunión, áreas de esparcimiento, oficinas, talleres y lavandería.

Estar techada y ubicada donde no haya riesgo de inundación y que sea de fácil acceso.

Contar con extinguidores de acuerdo al riesgo asociado.

Contar con muros de contención lateral y posterior con una altura mínima de 20 centímetros para detener derrames.

Contar con señalamientos y letreros alusivos a la peligrosidad de los mismos, en lugares y formas visibles.

Tener una capacidad mínima, de tres veces el volumen promedio de residuos peligrosos biológico infecciosos generados diariamente.

En cuanto a tratamiento:

Los residuos peligrosos biológico-infecciosos deberán ser tratados por métodos físicos o químicos.

Los métodos de tratamiento serán autorizados por la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca⁶, a través del Instituto Nacional de Ecología y deberán cumplir los siguientes criterios generales:

- Deberá garantizar la eliminación de microorganismos patógenos, y
- Deberán volver irreconocibles a los residuos peligrosos biológico-infecciosos.

Los residuos patológicos deben ser cremados, excepto aquellos que estén destinados a fines terapéuticos, de investigación y docencia.

Finalmente en cuanto a disposición, una vez tratados e irreconocibles, los residuos peligrosos biológico-infecciosos, se eliminarán como residuos no peligrosos.

3.6 Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-98-ECOL-2000.

Este Proyecto de Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones de operación, así como los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes para las instalaciones de incineración de residuos. Es de observancia obligatoria aplicable en todo el territorio mexicano para todas aquellas instalaciones destinadas a la incineración de residuos, excepto hornos crematorios, industriales y calderas que utilicen residuos como combustible alterno. No aplicará para la incineración de materiales o residuos radioactivos.

La instalación de incineración debe contar con un área de almacenamiento, de conformidad con los ordenamientos jurídicos aplicables; para los materiales y residuos, con una capacidad mínima de por lo menos dos veces la capacidad diaria de operación autorizada.

⁶ Ahora Secretaría de Ecología.

La instalación de incineración debe contar con una planta generadora de energía eléctrica para emergencias, que garantice el paro seguro de la instalación en caso de falla del suministro eléctrico.

La instalación de incineración contará con un sistema para el pesaje de los residuos que se reciban.

El diseño, equipamiento y funcionamiento de las instalaciones de incineración deben permitir que la temperatura de los gases derivados de la incineración de los residuos se eleve, tras la última inyección de aire de combustión, de manera controlada y homogénea, aún en las condiciones más desfavorables, hasta por lo menos 850 °C, alcanzados en o cerca de la pared interna, de la cámara de combustión final, durante un tiempo mínimo de por lo menos dos segundos, referido a un 7 por ciento mínimo de oxígeno. En el caso de que se incineren residuos peligrosos que contengan sustancias cloradas, la temperatura debe elevarse hasta por lo menos 1000 ± 100 °C, con un tiempo mínimo de residencia de 2 segundos.

Para evitar las emisiones fugitivas, la presión de operación de las cámaras de combustión del incinerador debe ser negativa.

La unidad de incineración debe estar equipada con quemadores que se pongan en marcha de manera automática cuando la temperatura descienda por debajo de la mínima establecida para su operación.

El operador debe mantener una bitácora diaria foliada o archivos electrónicos, a disposición de la autoridad competente, en la cual registrará la siguiente información:

- a) Tipo y cantidad de residuos incinerados;
- b) Temperatura del equipo en las diferentes cámaras y equipos de control;
- c) Tipo y cantidad de combustible consumido;
- d) Arranques, paros y horas de operación del equipo;
- e) Fallas y problemas presentados durante la operación del equipo, señalando las medidas correctivas adoptadas para el restablecimiento de las condiciones normales de operación;
- f) Mediciones de los contaminantes especificados en las tablas de esta Norma;
- g) Condiciones de operación del equipo de control de emisiones (presión, temperatura y tasa de alimentación);
- h) Cantidad y destino final de los residuos generados por el incinerador, y
- i) Nombre y firma del responsable técnico.

No se permite la alimentación manual del incinerador; la alimentación con una carga de residuos mayor o con residuos diferentes a los que el diseño del incinerador permite.

Las instalaciones de incineración deben de contar con un Programa para Atención a Contingencias y con los sistemas para prevenir y responder a incendios o explosiones, así como a fugas o derrames de residuos.

Los residuos sólidos (cenizas) que se generen durante los procesos de incineración y por sus equipos de control de emisiones o tratamiento de aguas residuales, deben de ser caracterizados previo a su disposición, para determinar su peligrosidad de acuerdo con la normatividad correspondiente. Si el contenido de materia volátil en la ceniza es mayor al 10%, éstas deberán ser realimentadas al incinerador.

En caso de que por razones de fallas en los equipos de alimentación automática, medición continua, control de emisiones, o alguna otra falla que impida el funcionamiento de la operación autorizada del incinerador, se debe suspender la alimentación de los residuos, así como la recepción de los mismos en el caso de rebasar el área de almacenamiento, hasta que sea resuelto el problema.

La instalación de incineración debe contar con sistemas para la medición continua de indicadores de buenas prácticas de operación y control, contando por lo menos con un equipo de monitoreo continuo para la temperatura del horno de combustión y para las emisiones de CO, O₂, a la salida de los gases de chimenea.

Para llevar a cabo la medición de las emisiones a la atmósfera, los incineradores deben contar con plataforma y puertos de muestreo en el ducto de salida de los gases de acuerdo con lo establecido en el artículo 17 fracción III del Reglamento de la Ley en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera y de acuerdo a lo especificado en la norma NMX-AA-009/1993-SCFI.

Los límites máximos permisibles de emisiones son los establecidos en la Tabla 3.9.

La temperatura máxima de los gases antes del equipo de control de emisiones y, en su caso, a la salida de la chimenea debe ser menor a 250° C.

Los límites máximos permisibles de emisión establecidos en la Tabla 3.9 se aplicarán todo el tiempo para las instalaciones de incineración, excepto en periodos de arranque o paro de los equipos.

El responsable del incinerador podrá quedar exento de realizar el análisis de alguno o varios de los parámetros establecidos en la Tabla 3.9, cuando demuestre a la autoridad competente que por las características de los residuos a tratar no genera o concentra los contaminantes a exentar, manifestándolo ante ella por escrito y bajo protesta de decir la verdad. En caso de falsedad, el responsable queda sujeto a los ordenamientos legales aplicables.

Tabla 3.9 Límites máximos permisibles de emisiones para instalaciones de incineración de residuos

Contaminante	Límite de emisión	Frecuencia de medición	Norma que aplica o método
CO ₂ (mg/m ³)	63	Continuo	Infrarrojo No Dispersivo
HCl (mg/m ³)	15	Semestral	Nmx-Aa-070-1980
NO _x (mg/m ³)	300	Semestral	Quimiluminiscencia
SO ₂ (mg/m ³)	80	Semestral	Nmx-Aa-55-1979
PARTICULAS (mg/m ³)	50	Semestral	Nmx-Aa-10-1974
ARSENICO SELENIO COBALTO NIQUEL MANGANESO ESTAÑO (mg/m ³)	0.7*	Semestral	Metodo Cenica-Mepe-O5
CADMIO (mg/m ³)	0.07	Semestral	Metodo Cenica-Mepe-O5
PLOMO CROMO total COBRE ZINC (mg/m ³)	0.7*	Semestral	Metodo Cenica-Mepe-O5
MERCURIO (mg/m ³)	0.07	Semestral	Metodo Cenica-Mepe-O5
DIOXINAS Y FURANOS EQT (ng/m ³)	0.5	Anual	Metodo Cenica-Dyf-O5

* Suma total metales pesados.

Todos los valores están referidos a condiciones estándar (1 atmósfera, base seca 25 °C) y 7% de O₂), de acuerdo a la NOM-085-ECOL-1994.

Fuente: Referencia 9, p.8 y 9.

3.7 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Esta Ley menciona en su artículo primero, que es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social.

Entre los artículos que integran esta ley cabe mencionar los siguientes:

ARTICULO 110.- Para la protección a la atmósfera se considerarán los siguientes criterios:

- I.- La calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos y las regiones del país; y
- II.- Las emisiones de contaminantes de la atmósfera, sean de fuentes artificiales o naturales, fijas o móviles, deben ser reducidas y controladas, para asegurar una calidad del aire satisfactoria para el bienestar de la población y el equilibrio ecológico.

ARTICULO 113.- No deberán emitirse contaminantes a la atmósfera que ocasionen o puedan ocasionar desequilibrios ecológicos o daños al ambiente. En todas las emisiones a la atmósfera, deberán ser observadas las previsiones de esta Ley y de las disposiciones reglamentarias que de ella emanen, así como las normas oficiales mexicanas expedidas por la Secretaría de Desarrollo Social.

ARTICULO 151.- La responsabilidad del manejo y disposición final de los residuos peligrosos corresponde a quien los genera. En el caso de que se contrate los servicios de manejo y disposición final de los residuos peligrosos con empresas autorizadas por la Secretaría de Desarrollo Social y los residuos sean entregados a dichas empresas, la responsabilidad por las operaciones será de éstas independientemente de la responsabilidad que, en su caso, tenga quien los generó.

Quienes generen, reusen o reciclen residuos peligrosos, deberán hacerlo del conocimiento de la Secretaría de Desarrollo Social en los términos previstos en el Reglamento de la presente Ley.

En las autorizaciones para el establecimiento de confinamientos de residuos peligrosos, sólo se incluirán los residuos que no puedan ser técnica y económicamente sujetos de reuso, reciclamiento o destrucción térmica o físico química, y no se permitirá el confinamiento de residuos peligrosos en estado líquido.

ARTICULO 151 BIS.- Requiere autorización previa de la Secretaría de Desarrollo Social:

- I.- La prestación de servicios a terceros que tenga por objeto la operación de sistemas para la recolección, almacenamiento, transporte, reuso, tratamiento, reciclaje, incineración y disposición final de residuos peligrosos;
- II.- La instalación y operación de sistemas para el tratamiento o disposición final de residuos peligrosos, o para su reciclaje cuando éste tenga por objeto la recuperación de energía, mediante su incineración, y
- III.- La instalación y operación, por parte del generador de residuos peligrosos, de sistemas para su reuso, reciclaje y disposición final, fuera de la instalación en donde se generaron dichos residuos.

3.8 Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación a la Atmósfera.

ARTICULO 1o.- El presente Reglamento rige en todo el territorio nacional y las zonas donde la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, y tiene por objeto reglamentar la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en lo que se refiere a la prevención y control de la contaminación de la atmósfera.

ARTICULO 10.- Serán responsables del cumplimiento de las disposiciones del Reglamento y de las normas técnicas ecológicas que de él se deriven, las personas físicas o morales, públicas o privadas, que pretendan realizar o que realicen obras o actividades por las que se emitan a la atmósfera olores, gases o partículas sólidas o líquidas.

ARTICULO 16.- Las emisiones de olores, gases, así como de partículas sólidas y líquidas a la atmósfera que se generen por fuentes fijas, no deberán exceder los niveles máximos permisibles de emisión e inmisión, por contaminantes y por fuentes de contaminación que se establezcan en las normas técnicas ecológicas que para tal efecto expida la Secretaría en coordinación con la Secretaría de Salud, con base en la determinación de los valores de concentración máxima permisible para el ser humano de contaminantes en el ambiente que esta última determina. Asimismo, y tomando en cuenta la diversidad de tecnologías que presentan las fuentes, podrán establecerse en la norma técnica ecológica diferentes valores al determinar los niveles máximos permisibles de emisión o inmisión, para un mismo contaminante o para una misma fuente, según se trate de:

- I.- Fuentes existentes;
- II.- Nuevas fuentes, y
- III.- Fuentes localizadas en zonas críticas.

La Secretaría de Desarrollo Social en coordinación con la Secretaría de Salud, y previos los estudios correspondientes, determinará en la norma técnica ecológica respectiva, las zonas que deben considerarse críticas.

ARTICULO 17.- Los responsables de las fuentes fijas de jurisdicción federal, por las que se emitan olores, gases o partículas sólidas o líquidas a la atmósfera estarán obligados a:

- I.- Emplear equipos y sistemas que controlen las emisiones a la atmósfera, para que éstas no rebasen los niveles máximos permisibles establecidos en las normas técnicas ecológicas correspondientes;
- II.- Integrar un inventario de sus emisiones contaminantes a la atmósfera, en el formato que determine la Secretaría;
- III.- Instalar plataformas y puertos de muestreo;
- IV.- Medir sus emisiones contaminantes a la atmósfera, registrar los resultados en el formato que determine la Secretaría y remitir a ésta los registros, cuando así los solicite;
- V.- Llevar a cabo el monitoreo perimetral de sus emisiones contaminantes a la atmósfera, cuando la fuente de que se trate se localice en zonas urbanas o suburbanas, cuando colinde con áreas naturales protegidas, y cuando por sus características de operación o por sus materias primas, productos y subproductos, puedan causar grave deterioro a los ecosistemas, a juicio de la Secretaría;
- VI.- Llevar una bitácora de operación y mantenimiento de sus equipos de proceso y de control;
- VII.- Dar aviso anticipado a la Secretaría del inicio de operación de sus procesos, en el caso de paros programados, y de inmediato en el caso de que éstos sean circunstanciales, si ellos pueden provocar contaminación;
- VIII.- Dar aviso inmediato a la Secretaría en el caso de falla del equipo de control, para que ésta determine lo conducente, si la falla puede provocar contaminación, y
- IX.- Las demás que establezcan la Ley y el Reglamento.

ARTICULO 18.- Sin perjuicio de las autorizaciones que expidan otras autoridades competentes, las fuentes fijas de jurisdicción federal que emitan o puedan emitir olores, gases o partículas sólidas o líquidas a la atmósfera, requerirán licencia de funcionamiento expedida por la Secretaría, la que tendrá una vigencia indefinida.

ARTICULO 19.- Para obtener la licencia de funcionamiento a que se refiere el artículo anterior, los responsables de las fuentes, deberán presentar a la Secretaría, solicitud por escrito acompañada de la siguiente información y documentación:

- I.- Datos generales del solicitante;
- II.- Ubicación;
- III.- Descripción del proceso;
- IV.- Distribución de maquinaria y equipo;
- V.- Materias primas o combustibles que se utilicen en su proceso y forma de almacenamiento;
- VI.- Transporte de materias primas o combustibles al área de proceso;
- VII.- Transformación de materias primas o combustibles;
- VIII.- Productos, subproductos y desechos que vayan a generarse;
- IX.- Almacenamiento, transporte y distribución de productos y subproductos;
- X.- Cantidad y naturaleza de los contaminantes a la atmósfera esperados;
- XI.- Equipos para el control de la contaminación a la atmósfera que vayan a utilizarse, y
- XII.- Programa de contingencias, que contenga las medidas y acciones que se llevarán a cabo cuando las condiciones meteorológicas de la región sean

desfavorables, o cuando se presenten emisiones de olores, gases, así como de partículas sólidas y líquidas extraordinarias no controladas.

ARTICULO 23.- Las emisiones de contaminantes atmosféricos que se generen por las fuentes fijas de jurisdicción federal, deberán canalizarse a través de ductos o chimeneas de descarga.

Cuando por razones de índole técnica no pueda cumplirse con lo dispuesto por este artículo, el responsable de la fuente deberá presentar a la Secretaría un estudio justificativo para que ésta determine lo conducente.

ARTICULO 24.- Los ductos o chimeneas a que se refiere el artículo anterior, deberán tener la altura efectiva necesaria, de acuerdo con la norma técnica ecológica correspondiente, para dispersar las emisiones contaminantes.

ARTICULO 25.- Las mediciones de las emisiones contaminantes a la atmósfera se llevarán a cabo conforme a los procedimientos de muestreo y cuantificación establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas o, en su caso, en las normas técnicas ecológicas correspondientes. Para evaluar la emisión total de contaminantes atmosféricos de una fuente múltiple, se deberán sumar las emisiones individuales de las chimeneas existentes.

Finalmente cabe decir que, de acuerdo con lo expuesto anteriormente, la legislación vigente en cuanto a incineración de residuos se refiere, tiene ya un buen tramo avanzado respecto a especificaciones de operación y límites máximos permisibles de emisión de contaminantes, con el Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-98-ECOL-2000, que por tratarse de un Proyecto, todavía no entra en vigor, por lo que aún no es definitiva su aplicación. Sin duda, el Proyecto resulta muy importante como un primer intento para normar las operaciones de incineración, ya que por ser una de las principales fuentes de contaminación del aire, debió haber sido uno de los primeros puntos a normar.

El PROY-NOM-98-ECOL-2000 cubre aspectos importantes en cuanto a operación y diseño, poniendo límites de temperatura y emisiones, determinando el equipo con el que se debe contar adicionalmente y estableciendo acciones a realizar durante la operación de los equipos de incineración que deberán tomarse en cuenta durante la concepción de la operación pero que definitivamente no sirven de base para realizar el diseño del equipo completo.

Excluyendo las operaciones de hornos crematorios, industriales y calderas que utilizan residuos como combustible alterno, deja un campo demasiado amplio que definitivamente debe considerarse ya que son muchas las industrias en las que se llevan a cabo este tipo de actividades y que contribuyen significativamente a la contaminación del aire por lo que urge el que sean tomadas las medidas necesarias para regular tales operaciones.

Capítulo 4

CRITERIOS DE DISEÑO TERMODINÁMICO

4.1 Estándares de Diseño Termodinámico.

Los residuos patológicos se definen como todos aquellos que incluyan partes de órganos, huesos, músculos, otros tejidos y residuos orgánicos de origen animal o humano; es por eso que los incineradores crematorios tienen estándares de diseño similares a los incineradores utilizados para quemar residuos patológicos. Químicamente, esta clase de residuos se compone principalmente de carbono, hidrógeno y oxígeno; también se encuentran presentes pequeñas cantidades de diversos minerales junto con trazas de nitrógeno. Físicamente, consisten de materiales de estructura celular y de fluidos, ya que cada célula contiene agua junto con los demás elementos que la componen. El cabello, el tejido adiposo, el tejido proteínico y los huesos, están formados por células, de diferentes formas y en diferentes proporciones. La sangre y otros fluidos, pueden considerarse como agua, casi en su totalidad.

La composición química promedio de un animal completo, exceptuando la proporción de agua presente, es muy similar en todos los animales. La proporción de agua, comparada con el peso total, varía ampliamente entre especies diferentes y entre las distintas condiciones de descomposición del material. En la tabla 2.3 se presentan propiedades químicas promedio y datos de combustión que se ha encontrado son efectivos para el diseño de incineradores de residuos patológicos. Sin embargo, para diseñar el incinerador crematorio de restos humanos, se realizará el balance de masa y energía, con base en la composición elemental del cuerpo humano.

Una consideración principal en el diseño de incineradores de residuos patológicos, consiste en prever la liberación de los fluidos conforme el material es destruido. Tales fluidos son frecuentemente liberados en tales cantidades, que no se evaporan inmediatamente, por lo que se requiere el empleo de un hogar sólido en lugar de una parrilla en la cámara de ignición.

La presencia de un porcentaje relativamente alto de humedad en cada una de las células que forman los residuos patológicos, hace que se presente una evaporación difícil. La evaporación de la humedad es necesaria, antes de que el tejido pueda ser incinerado. La humedad sin embargo, se evapora sólo de aquellas células que se encuentran sobre o cerca de la superficie del material expuesto al calor. Las capas más profundas del tejido son casi completamente aisladas y dentro de la cámara se calientan muy lentamente. La evaporación de la humedad de las células más profundas, puede no producirse, hasta la destrucción del material celular que se encuentra encima de ellas, lo que provoca que hasta entonces estén cerca de la superficie y reciban calor. Mientras el calor de combustión del material seco es considerable, la proporción relativamente pequeña de material, con respecto a la enorme cantidad de humedad presente, hace inefectiva la inicialización del proceso de evaporación, por lo que debe quemarse combustible auxiliar para lograr la deshidratación necesaria.

Los cálculos de diseño de incineradores de cualquier tipo de residuos, incluidos los llamados patológicos, se clasifican en tres categorías generales:

- a) Cálculos de combustión, basados en el calor de entrada de combustible auxiliar, la composición del residuo, los requerimientos asumidos de aire y pérdidas de calor.
- b) Cálculos de flujo, basados en los productos de combustión y la temperatura de los gases esperada.
- c) Cálculos dimensionales basados en ecuaciones empíricas de dimensionamiento.

En este capítulo se abordan y desarrollan las dos primeras categorías, las cuales corresponden al diseño termodinámico del incinerador crematorio. También se mencionan algunos aspectos de dimensionamiento que serán tratados a profundidad en el siguiente capítulo.

A continuación se presentan los criterios asumidos para realizar el diseño del incinerador crematorio de cuerpos humanos:

1. Las velocidades de evaporación y combustión del combustible auxiliar y la composición promedio de los residuos, son tomadas como constantes. Los parámetros de diseño deben basarse en que los residuos a ser destruidos en la unidad, contienen el mayor contenido de humedad que pueda esperarse.
2. La temperatura promedio de los productos de combustión es determinada a través del cálculo de pérdidas de calor por radiación, evaporación del agua contenida en los desechos y evaporación del agua formada en el proceso de combustión.
3. La temperatura promedio global del gas, debe ser de alrededor de los 1500 °F, cuando los cálculos se basan en que el aire se introduce con un 100% en exceso del requerido teóricamente por el combustible y en que el aire para el quemador primario se encuentra en un 20% en exceso. La temperatura mínima de los gases que abandonan la cámara de ignición debe ser de 1600 °F.
4. La velocidad del tiro de entrada (indraft) en los puertos de aire, se asume que sea de 0.1 pulgadas C. A. de presión velocidad (1,255 pies / minuto).
5. Los puertos de aire son dimensionados para proveer 100% del aire teórico requerido por el material combustible en los residuos cargados más el exceso.

En principio, los incineradores crematorios no deben ser diseñados asumiendo que la velocidad de combustión es constante, ya que habrá periodos de tiempo durante la operación global, en los que se presente una mayor velocidad de generación de productos de combustión. Los factores para establecer el diseño del incinerador crematorio deben ser obtenidos con base en el período de operación en el que se produce el mayor flujo de

productos de combustión. Esto no contradice la primera de las suposiciones asumidas anteriormente ya que, para efectos del balance de masa y energía, se considerará que aunque el período de incineración de un cuerpo humano de 70 kg, es de 2.5 h (con lo que la velocidad de incineración sería de 28 kg/h), el cuerpo es reducido a cenizas en 1.5 horas, por lo que la velocidad de incineración considerada será de 46.7 kg/h. De esta manera se estará asegurando el diseño para los valores críticos de temperatura y flujo de gases de combustión.

La tabla 4.1 presenta dos posibles procedimientos de operación que agrupa los períodos en los que se presentarán velocidades de combustión diferentes.

Tabla 4.1 Procedimientos de operación de un horno crematorio.

Período de 1 ½ h					
Fase	Duración (min.)	Operación de Quemadores	Cuerpo		
			Humedad	Tejido	Calcinación de huesos
Carga	-	Zona secundaria encendido	-	-	-
Ignición	15	Todos encendidos	-	-	-
Combustión Completa	30	Todos encendidos	20% se evapora	10% se quema	-
Combustión Final	45	Todos encendidos	80% se evapora	90% se quema	50%
Calcinación	1 a 12 h	Todos apagados	-	-	50%
Período de 2 ½ h					
Fase	Duración (min.)	Operación de Quemadores	Cuerpo		
			Humedad	Tejido	Calcinación de huesos
Ignición	15	Todos encendidos	-	-	-
Combustión Completa	30	Primario apagado	20% se evapora	-	-
Combustión Final	15	Todos encendidos	20% se evapora	20% se quema	50%
	90	Todos encendidos	60% se evapora	80% se quema	
Calcinación	1 a 12 h	Todos apagados	-	-	50%

TESIS CON
 FALTA DE ORIGEN

Fuente: Referencia 5, p. 490.

Un puerto de aire primario no es indispensable en estas unidades. Un exceso de aire adecuado en la cámara primaria normalmente será proporcionado tanto para el combustible como para los residuos, por las ranuras o por el ajuste de la puerta de carga del tipo de guillotina. Cuando se desea un puerto de aire primario, se recomiendan 5 pulg² / 100 lb de combustible.

Los cálculos de combustión requeridos para determinar la masa y la velocidad de los productos de combustión junto con las temperaturas promedio, pueden ser deducidos de los procedimientos estándar de cálculo, cuando son asumidas las suposiciones anteriores.

Los requerimientos de dimensionamiento para las áreas de entrada de aire son mínimos; estas áreas deben ser sobredimensionadas en la práctica por altitud operacional.

A continuación se presenta la secuencia de cálculo seguida para resolver el balance de masa y energía que permite ir realizando los cálculos de combustión necesarios que van conformando el diseño termodinámico del incinerador crematorio. Debe aclararse que los cálculos fueron realizados utilizando una hoja de cálculo del programa Excel, el cual utiliza hasta 127 dígitos decimales aunque aquí sólo se reportan hasta los primeros seis.

4.2 Especificaciones de Diseño.

4.2.1 Datos de operación.

Se considera que el incinerador crematorio operará de forma continua las 24 horas del día, en ciclos de 2.5 horas por cuerpo humano de 70 kg en promedio, por lo que:

Tiempo de operación efectiva por día: 24 horas.

Ciclo de incineración: 2.5 horas.

Para efectos del balance de masa y energía se considerará que el cuerpo es incinerado en 1.5 horas, ya que así se estará asegurando el diseño para los valores críticos de temperatura y flujo de gases de combustión. Por lo que:

Capacidad de incineración promedio: 70 kg/ 1.5h = 46.7 kg/h (102.88 lb/h).

4.2.2 Composición del residuo a incinerar.

La composición elemental de un cuerpo humano de 70 kg, es la que se presenta en las Tablas 4.2. y 4.3.

Se considera como base el flujo de 1120 kg/día (46.67 kg/h; 102.88 lb/h), para el balance de masa y energía, de acuerdo a lo siguiente:

Masa total (base seca):	15.57 kg/h	equivalentes a	34.33 lb/h
Agua	31.10 kg/h	equivalentes a	68.55 lb/h

Tabla 4.2 Composición elemental de un cuerpo humano de 70 kg.

Componente	Fórmula	Masa Cuerpo de 70 kg	Flujo (kg/h)	Flujo (lb/h)	% BH	% BS
Oxígeno	O	1.515	1.010	2.23	2.16%	6.49%
Carbono	C	15.991	10.661	23.50	22.84%	68.47%
Hidrógeno	H	1.814	1.209	2.67	2.59%	7.76%
Nitrógeno	N	1.799	1.199	2.64	2.57%	7.70%
Calcio (huesos)	Ca	1.000	0.666	1.47	1.43%	4.28%
Fósforo (huesos)	P	0.489	0.326	0.72	0.70%	2.09%
Fósforo	P	0.245	0.163	0.36	0.35%	1.05%
Azufre	S	0.140	0.093	0.21	0.20%	0.60%
Cloro	Cl	0.095	0.063	0.14	0.14%	0.41%
Otros	-----	0.271	0.180	0.40	0.39%	1.16%
Agua	H ₂ O	46.644	31.096	68.55	66.63%	--
TOTAL		70.00	46.67	102.88	100.00%	100.00%

* Los demás elementos del cuerpo serán referidos como "otros", y las cantidades en que se encuentran presentes se listan en la Tabla 4.3.

Fuente: Referencias 10 a 14.

Tabla 4.3 Demás elementos presentes en un cuerpo humano de 70 kg.

COMPONENTE	FORMULA	MASA CUERPO	FLUJO	FLUJO	% BH	% BS
		DE 70 kg	(kg/h)	(lb/h)		
Potasio	K	0.140	0.093	0.2058	0.20%	0.60%
Sodio	Na	0.100	0.067	0.1470	0.14%	0.43%
Magnesio	Mg	0.019	0.013	0.0279	0.03%	0.08%
Hierro	Fe	0.004	0.003	0.0062	0.01%	0.02%
Fluor	F	0.003	0.002	0.0038	0.0037%	0.0111%
Cinc	Zn	0.002	0.002	0.0034	0.0033%	0.0098%
Silicio	Si	0.001	6.67E-04	0.0047	0.0014%	0.0043%
Rubidio	Rb	6.80E-04	4.53E-04	9.95E-04	0.0010%	0.0029%
Estroncio	Sr	3.20E-04	2.13E-04	4.70E-04	0.0005%	0.0014%
Bromo	Br	2.60E-04	1.73E-04	3.82E-04	0.0004%	0.0011%
Plomo	Pb	1.20E-04	8.00E-05	1.76E-04	0.0002%	0.0005%
Cobre	Cu	7.20E-05	4.80E-05	1.06E-04	0.0001%	0.0003%
Aluminio	Al	6.00E-08	4.00E-08	8.82E-08	0.0000%	0.0000%
Cadmio	Cd	5.00E-05	3.33E-05	7.35E-05	0.0001%	0.0002%
Cerio	Ce	4.00E-05	2.67E-05	5.88E-05	0.0001%	0.0002%
Bario	Ba	2.00E-06	1.33E-06	2.94E-06	0.000003%	0.0000%
Yodo	I	2.00E-05	1.33E-05	2.94E-05	0.000029%	0.0001%
Estanio	Sn	2.00E-05	1.33E-05	2.94E-05	0.000029%	0.0001%
Titanio	Ti	2.00E-05	1.33E-05	2.94E-05	0.000029%	0.0001%
Boro	B	1.80E-05	1.20E-05	2.65E-05	0.000026%	0.0001%
Niquel	Ni	1.50E-05	1.00E-05	2.20E-05	0.000021%	0.0001%
Selenio	Se	1.50E-05	1.00E-05	2.20E-05	0.000021%	0.0001%
Cromo	Cr	1.40E-05	9.33E-06	2.06E-05	0.000020%	0.0001%
Manganeso	Mn	1.20E-05	8.00E-06	1.76E-05	0.000017%	0.0001%
Arsénico	As	7.00E-06	4.67E-06	1.03E-05	0.000010%	0.000030%
Litio	Li	7.00E-06	4.67E-06	1.03E-05	0.000010%	0.000030%
Cesio	Cs	6.00E-06	4.00E-06	8.82E-06	0.000009%	0.000026%
Mercurio	Hg	6.00E-06	4.00E-06	8.82E-06	0.000009%	0.000026%
Alemanio	Ge	5.00E-06	3.33E-06	7.35E-06	0.000007%	0.000021%
Molibdeno	Mo	5.00E-06	3.33E-06	7.35E-06	0.000007%	0.000021%
Cobalto	Co	3.00E-06	2.00E-06	4.41E-06	0.000004%	0.000013%
Antimonio	Sb	2.00E-06	1.33E-06	2.94E-06	0.000003%	0.000009%
Plata	Ag	2.00E-06	1.33E-06	2.94E-06	0.000003%	0.000009%
Niobio	Nb	1.50E-06	1.00E-06	2.20E-06	0.000002%	0.000006%
Zirconio	Zr	1.00E-06	6.67E-07	1.47E-06	0.000001%	0.000004%
Lantano	La	8.00E-07	5.33E-07	1.18E-06	0.000001%	0.000003%
Galio	Ga	7.00E-07	4.67E-07	1.03E-06	0.000001%	0.000003%
Telurio	Te	7.00E-07	4.67E-07	1.03E-06	0.000001%	0.000003%
Itrio	Y	6.00E-07	4.00E-07	8.82E-07	0.000001%	0.000003%
Bismuto	Bi	5.00E-07	3.33E-07	7.35E-07	0.000001%	0.000002%
Talio	Tl	5.00E-07	3.33E-07	7.35E-07	0.000001%	0.000002%
Indio	In	4.00E-07	2.67E-07	5.88E-07	0.000001%	0.000002%
Oro	Au	2.00E-07	1.33E-07	2.94E-07	0.00000029%	0.000001%
Escandio	Sc	2.00E-07	1.33E-07	2.94E-07	0.00000029%	0.000001%
Tantalo	Ta	2.00E-07	1.33E-07	2.94E-07	0.00000029%	0.000001%
Vanadio	V	1.00E-07	6.67E-08	1.47E-07	0.00000014%	0.0000004%
Torio	Th	1.00E-07	6.67E-08	1.47E-07	0.00000014%	0.0000004%
Uranio	U	1.00E-07	6.67E-08	1.47E-07	0.00000014%	0.0000004%
Samario	Sr	5.00E-08	3.33E-08	7.35E-08	0.00000007%	0.0000002%
Berilio	Be	3.60E-08	2.40E-08	5.29E-08	0.00000005%	0.0000002%
Tungsteno	W	2.00E-08	1.33E-08	2.94E-08	0.00000003%	0.0000001%
TOTAL		0.270829	0.180552	0.398043	0.39%	1.16%

Fuente: Referencia 13.

FALLA DE ORIGEN

4.3 Aire de oxidación requerido por los desechos.

Con base en el análisis elemental del cuerpo humano, se calcula el aire de oxidación requerido para que se lleve a cabo la combustión del mismo. Sólo reaccionan los elementos carbono, hidrógeno, azufre, cloro y parte del fósforo, dando lugar a los productos de combustión. El calcio y fósforo que forman los huesos no reaccionan, al igual que los otros elementos mencionados en el análisis elemental, pero si absorben calor, por lo que deben ser considerados en ambos balances.

a) Oxígeno requerido por el Carbono.



Lo que traducido en masa: 12 lb de C + 32 lb de $\text{O}_2 \rightarrow 44$ lb de CO_2 .

Por lo que por cada 23.50 lb/h de C:

Se requieren 62.67 lb/h de O_2 y se generan 86.17 lb/h de CO_2 .

b) Oxígeno requerido por el Hidrógeno.



Lo que traducido en masa: 4 lb de H_2 + 32 lb de $\text{O}_2 \rightarrow 36$ lb de H_2O .

Por lo que por cada 2.67 lb/h de H_2 :

Se requieren 21.32 lb/h de O_2 y se generan 23.99 lb/h de H_2O .

c) Oxígeno requerido por el Azufre.



Lo que traducido en masa: 32 lb de S + 32 lb de $\text{O}_2 \rightarrow 64$ lb de SO_2 .

Por lo que por cada 0.21 lb/h de S:

Se requieren 0.21 lb/h de O_2 y se generan 0.41 lb/h de SO_2 .

d) Reacción del Cloro.



Lo que traducido en masa: 71 lb de Cl_2 + 18 lb de $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 73$ lb de HCl + 16 lb de O_2 .

Por lo que por cada 0.14 lb/h de Cl_2 :

Se consumen 0.04 lb/h de H_2O y se generan 0.14 lb/h de HCl y 0.03 lb/h de O_2 . Se considerará que el agua para esta reacción, es tomada del desecho mismo.

e) Oxígeno requerido por el Fósforo.



Lo que traducido en masa: 124 lb de P + 160 lb de $\text{O}_2 \rightarrow 284$ lb de P_4O_{10} .

Por lo que por cada 0.36 lb/h de P:

Se requieren 0.46 lb/h de O_2 y se generan 0.82 lb/h de P_4O_{10} .



Lo que traducido en masa: 284 lb de P_4O_{10} + 108 lb de $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 392$ lb de H_3PO_4 .

Por lo que por cada 0.82 lb/h de P_4O_{10} :

Se consumen 0.31 lb/h de H_2O y se generan 1.14 lb/h de H_3PO_4 .

Se considerará que el agua para esta reacción, es tomada del desecho mismo.

f) Nitrógeno contenido en el desecho.

Se considera una conversión a nitrógeno elemental N_2 .

Reacción : $2N \rightarrow N_2$

Lo que traducido en masa: 28 lb de N \rightarrow 28 lb de N_2 .

Por lo que por cada 2.64 lb/h de N:

Se forman 2.64 lb/h de N_2 .

g) Oxígeno contenido en el desecho.

Se considera una conversión a oxígeno elemental O_2 .

Reacción : $2O \rightarrow O_2$

Lo que traducido en masa: 32 lb de O \rightarrow 32 lb de O_2 .

Por lo que por cada 2.23 lb/h de O:

Se forman 2.23 lb/h de O_2 .

Total de oxígeno requerido por el C, H_2 , S y P.

Oxígeno requerido por el carbono:	62.6725	lb/h
Oxígeno requerido por el hidrógeno:	21.3226	lb/h
Oxígeno requerido por el azufre:	0.2058	lb/h
Oxígeno requerido por el fósforo:	0.4639	lb/h
Oxígeno requerido:	84.6648	lb/h

Oxígeno producido en la reacción del cloro:	0.0315	lb/h
Oxígeno contenido en el desecho:	2.2262	lb/h
Oxígeno producido y contenido:	2.2577	lb/h

El oxígeno total requerido se obtiene restando el oxígeno producido y contenido en los desechos, del requerido por las reacciones, por lo que:

Oxígeno total requerido: **82.4071 lb/h de O_2 .**

La composición másica del aire puede considerarse 23.3% O_2 y 76.7% N_2 , por lo que se requieren 353.6784 lb/h de aire para la oxidación de los componentes del cuerpo.

Se considera alimentar 100% de aire en exceso⁷ para asegurar la combustión completa de los componentes del cuerpo, por lo que deberán alimentarse 707.36 lb/h de aire (353.6784 lb/h \times 2). La masa molar del aire es 28.8 lb/lbmol, por lo que tenemos que el flujo de aire será de 24.56 lbmol/h (707.36 lb/h / 28.8 lb/lbmol). Se sabe que una lbmol de cualquier gas que se comporte idealmente, en condiciones de temperatura y presión normales (TPN), ocupa 359 pies cúbicos⁸. Por lo que 24.56 lbmol/h equivalen a un flujo de 8817 pies³/h (147 pies³/min.) a condiciones TPN (24.56 lbmol/h \times 359 pies³/lbmol).

⁷ Punto 4.1. Criterio No. 3.

⁸ Referencia 15.

Para corregir el flujo y llevarlo a las condiciones locales, se utiliza la fórmula (1):

$$V_2 = V_1 * \frac{T_2 + 273.15}{273.15} * \frac{1}{P_2} \quad (1)$$

donde:

V_2 = Flujo volumétrico a las condiciones deseadas de presión y temperatura.

V_1 = Flujo volumétrico a condiciones TPN.

T_2 = Temperatura a la que se desea corregir el flujo (°C).

P_2 = Presión a la que se desea corregir el flujo (atm.).

Se considera que el horno crematorio operará en la Cd. de México por lo que T_2 es de 20 °C y P_2 de 0.77 atm. (585 mmHg), con lo que se obtiene un flujo volumétrico de 205 pies³/min de aire a las condiciones de operación.

4.4 Evaluación del poder calorífico de los desechos.

Para estimar el poder calorífico de los desechos puede utilizarse la fórmula(2)⁹:

$$PCA = 7831\%C_{org} + 35932[\%H - (1/8)\%O] + 2212(\%S + \%P) - 3545\%C_{inorgánico} + 1187\%O + 578\%N \quad (2)$$

donde:

PCA	= Poder calorífico alto del desecho (kcal/kg seco).
% C _{org}	= % masa de carbono orgánico en el desecho base seca.
% H	= % masa de hidrógeno en el desecho base seca.
% O	= % masa de oxígeno en el desecho base seca.
% S	= % masa de azufre en el desecho base seca.
% P	= % masa de fósforo en el desecho base seca.
% C _{inorgánico}	= % masa de carbono inorgánico en el desecho base seca.
% N	= % masa de nitrógeno en el desecho base seca.

Sustituyendo los porcentajes respectivos, reportados en la tabla 4.2, se obtiene que el PCA es de 8018 kcal/kg seco. Se tiene que 0.4536 lb equivalen a un kg y 0.252 BTU equivalen a una kcal, por lo que el PCA del cuerpo humano es, de acuerdo a esta fórmula de 14,432 BTU/lb seco (8018. kcal/kg × 0.4536 lb/kg / 0.252 BTU/kcal).

⁹ Referencia 16.

El calor generado por la combustión de los componentes del cuerpo se obtiene multiplicando la masa del cuerpo seco (34.33 lb/h) por el PCA, resultando de 495,429 BTU/h.

Existe otra fórmula para estimar el PCA de los desechos, conocida como la fórmula de Dulong¹⁰:

$$NHV = 14000\%C + 45000[\%H + (1/8)\%O] - 760\%Cl + 4500(\%S + \%P) \quad (3)$$

donde:

NHV	= Poder calorífico neto del desecho (BTU/lb seco).
% C	= % masa de carbono en el desecho base seca.
% H	= % masa de hidrógeno en el desecho base seca.
% O	= % masa de oxígeno en el desecho base seca.
% Cl	= % masa de cloro en el desecho base seca.
% S	= % masa de azufre en el desecho base seca.
% P	= % masa de fósforo en el desecho base seca.

Sustituyendo los porcentajes respectivos se tiene que el NHV es de 12,785 BTU/lb seco. Por cada libra de desecho se forman 0.699 lb de agua y su calor de vaporización es de 980 BTU/lb por lo que el PCA será de 13,470 BTU/lb seco [12,785 BTU/lb+ (980 BTU/lb)(0.699 lb H₂O / lb desecho)].

El calor generado por la combustión de los componentes del cuerpo, de acuerdo a lo anterior sería de 462,394 BTU/h (34.33 lb/h × 13,470 BTU/lb).

El Manual de la EPA¹¹, recomienda utilizar un valor para el PCA de residuos patológicos de 8,820 BTU/lb seco. Utilizando este valor se obtiene que el calor generado por la combustión de los componentes del cuerpo es de 302,772 BTU/h (34.33 lb/h × 8,820 BTU/lb seco).

Si se emplea la regla de dedo [17] que indica que se liberan 1,000,000 de kcal por cada 1360 kg de aire requeridos para la combustión de los desechos; siendo 160.43 kg/h (353.68 lb/h) el aire requerido para la oxidación, se estarían liberando 117,962 kcal/h (160.43 kg/h × 1,000,000 kcal/h / 1360 kg aire / h), equivalentes a 468,104 BTU/h (117,962 kcal/h / 0.252 kcal/BTU). Según esta regla, se puede liberar una cantidad de calor más grande que la que se toma para disño, pero el tomar un poder calorífico más bajo, permite diseñar del lado seguro, ya que el quemador que se seleccione tendrá la capacidad térmica

¹⁰ Referencia 17.

¹¹ Referencia 5.

suficiente en el caso de que el calor liberado por los desechos sea bajo y podrá modular su capacidad, en caso de que los desechos liberen una cantidad mayor de calor. Es por eso que para fines de diseño se debe tomar en este caso, el PCA de 8,820 BTU/lb seco, que es el valor que nos proporciona un mayor margen de confianza para el diseño.

4.5 Calor de combustión de los desechos.

El calor generado por la combustión de los componentes del cuerpo (Q_{cd}) se obtiene, como ya se mencionó, multiplicando la masa del cuerpo seco por el PCA, es decir, 34.33 lb seco/h por 8,820 BTU/lb seco, resultando de 302,772 BTU/h.

4.6 Requerimiento de calor.

El quemador auxiliar o primario debe proveer el calor primario requerido para la ignición de los componentes del cuerpo a incinerar más el calor que se estima como perdido (Q_{p1}), debido a tres causas:

- Radiación a través de las paredes de la cámara de combustión (Q_{p1}).
- Evaporación del agua contenida en el desecho (Q_{p2}).
- Evaporación del agua formada por incineración del cuerpo (Q_{p3}).

El calor perdido por radiación puede obtenerse asumiendo que la pérdida máxima esperada en la pared exterior, asciende a 200 BTU/pie². Las dimensiones comunes de un incinerador crematorio son 4.5 m de largo, 2 m de ancho y 1.8 m de altura, por lo que el área exterior es de 34.20 m² [(2+1.8 m)(2) × 4.5 m], equivalentes a 368.13 pies² [34.20 m²/(0.3048 m/pie)²]; siendo por lo tanto 73,625 BTU/h (200 BTU/pie² × 368.13 pie²) el valor de Q_{p1} .

El calor perdido por evaporación del agua contenida en el cuerpo se obtiene con:

$$Q_{p2} = \lambda_{Agua1} * M_{Agua1} \quad (4)$$

donde:

$$\lambda_{Agua1} = \text{Calor latente de vaporización del agua} = 980 \text{ BTU/lb.}$$

$$M_{Agua1} = \text{Flujo másico de agua contenida en el cuerpo} = 68.55 \text{ lb/h.}$$

Es así que Q_{p2} es de 67,182 BTU/h.

El calor perdido por evaporación del agua formada por incineración del cuerpo (Q_{p3}) se obtendría de la misma forma:

$$Q_{p3} = \lambda_{Agua2} * M_{Agua2} \quad (5)$$

donde:

$$M_{Agua2} = \text{Flujo másico de agua formada por incineración} = 23.99 \text{ lb/h.}$$

Es así que Q_{p3} sería de 23,508 BTU/h.

Como se esta utilizando el poder calorífico alto del desecho, la cantidad de calor generado por la incineración del cuerpo, incluye el calor de vaporización del agua. Por lo que esta cantidad no debe contabilizarse en calor perdido, siendo Q_{pi} la suma de los dos primeros términos, la cual asciende a 140,807 BTU/h.

El calor primario requerido para la ignición de los desechos a incinerar será estimado con base en la recomendación [5] que sugiere emplear de 3,000 a 10,000 BTU por libra de agua en el desecho, lo que sería aproximadamente de 2,000 a 6,663 BTU/lb de desecho. Para fines de diseño se considerarán 6,663 BTU/lb de desecho, por lo que se requerirá el suministro de 685,494 BTU/h (6,663 BTU/lb \times 102.88 lb/h).

La capacidad nominal del quemador auxiliar se encuentra con la fórmula:

$$Q_N = \frac{Q_q}{\sqrt{Fp}} \quad (6)$$

donde:

- Q_N = Capacidad nominal del quemador.
- Q_q = Capacidad del quemador a nivel del mar.
- Fp = Factor de altura = Presión atmosférica del lugar de operación del quemador, expresada en atmósferas (0.770 para la Cd. de México).

Sustituyendo los valores correspondientes, la capacidad nominal del quemador a instalar deberá ser de 781,326 BTU/h.

4.7 Calor Neto.

El calor generado en el interior de la cámara (Q_n) será la suma del calor generado por la combustión del cuerpo y el añadido por el quemador auxiliar para la ignición del mismo menos el calor perdido por radiación y evaporación:

$$Q_n = Q_{cd} + Q_q - Q_{pi} \quad (7)$$

Resultando de 847,459 BTU/h (302,772 + 685,494 - 140,807 BTU/h).

4.8 Temperatura de salida de gases de combustión.

4.8.1 Análisis del combustible.

El combustible que consumirá el quemador será gas LP que se considera una mezcla 50% propano, 50% butano volumen / volumen. El poder calorífico alto de este gas es de 2261.95 BTU/pie³. El flujo de gas a consumir para la cámara primaria se obtiene de:

$$V_{gr} = \frac{Q_a}{PCAG}$$

donde:

V_{gc} = Flujo volumétrico del gas combustible (pies³/h).
 Q_a = Capacidad del quemador a nivel del mar (BTU/h).
 PCAG = Poder calorífico alto del gas LP (BTU/pie³).

Así, se obtiene que se consumirán 303.1 pies³/h a condiciones TPN.

Al tener una mezcla 50% propano, 50% butano volumen / volumen, se tendría el siguiente análisis:

En condiciones TPN, una lbmol de gas contiene 359 pies³. Por lo que en un pie³ de gas se tendrán:

0.001393 lbmol de propano [(1 lbmol/359 pies³)(0.5)].
 0.001393 lbmol de butano [(1 lbmol/359 pies³)(0.5)].

La masa molar del propano es de 44 lb/lbmol y la del butano es de 58 lb/lbmol. Por lo que en masa se tendrán:

0.061281 lb de propano (44 lb/lbmol × 0.001393 lbmol).
 0.080780 lb de butano (58 lb/lbmol × 0.001393 lbmol).

El propano (C₃H₈) contiene en masa, 81.8% de carbono y 18.2% de hidrógeno, mientras que el butano (C₄H₁₀) es 82.8% carbono y 17.2% hidrógeno.

De lo anterior se deduce que por cada pie³ de gas LP se tienen:

0.116992 lb de carbono, [(0.061281 lb × 0.818)+(0.080780 lb × 0.828)] y
 0.025070 lb de hidrógeno, [(0.061281 lb × 0.182)+(0.080780 lb × 0.172)].

Según la cantidad de gas a consumir, reaccionarán:

35.45 lb/h de carbono, (303.1 pies³/h × 0.116992 lb/pie³) y
 7.60 lb/h de hidrógeno, (303.1 pies³/h × 0.025070 lb/pie³).

Los productos de combustión generados por el gas LP se obtienen de las siguientes reacciones:



Lo que traducido en masa: 12 lb de C + 32 lb de $O_2 \rightarrow 44$ lb de CO_2 .

Por lo que por cada 35.45 lb/h de C:

Se requieren 94.55 lb/h de O_2 y se generan 130.00 lb/h de CO_2 .



Lo que traducido en masa: 4 lb de H_2 + 32 lb de $O_2 \rightarrow 36$ lb de H_2O .

Por lo que por cada 7.60 lb/h de H_2 :

Se requieren 60.78 lb/h de O_2 y se generan 68.38 lb/h de H_2O .

El oxígeno requerido para que se lleven a cabo las reacciones anteriores es de 155.33 lb/h, (94.55 + 60.78 lb/h), el cual está contenido en 666.63 lb/h de aire, considerando que el aire es 23.3% O_2 y 76.7% N_2 , base masa. Para fines de diseño se considera la alimentación de un 20% de exceso de aire¹² para asegurar la combustión del gas LP, por lo que se tendrían que alimentar 799.96 lb/h de aire, (666.63 lb/h \times 1.20), equivalentes a 9971.75 pies³/h (166.20 pies³/min.) en condiciones TPN.

Resumiendo, los productos de combustión del gas LP son:

CO_2 :	130.00 lb/h
H_2O :	68.38 lb/h
N_2 :	613.57 lb/h (estequiométrico más exceso).
O_2 :	31.07 lb/h (exceso).

4.8.2 Productos de combustión de los desechos.

De lo expuesto en el punto 4.4, se tiene que los productos de combustión de los desechos son:

CO_2 :	86.17 lb/h
H_2O :	92.19 lb/h
SO_2 :	0.41 lb/h
HCl:	0.14 lb/h
H_3PO_4 :	1.14 lb/h
N_2 :	545.19 lb/h (estequiométrico, exceso y contenido en el cuerpo).
O_2 :	82.41 lb/h (exceso).

¹² Ídem.

4.8.3 Total de gases por combustión de desechos y gas LP.

La suma de los gases de combustión del cuerpo y del gas LP se presenta en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Suma global de gases de combustión del proceso de incineración.

COMPUESTO	FLUJO MASICO lb/h	FLUJO MOLAR lbmol/h	PORCENTAJE EN MASA	PORCENTAJE EN MOL
CO ₂	216.1757	4.9131	13.10%	8.36%
H ₂ O	160.5693	8.9205	9.73%	15.17%
SO ₂	0.4115	0.0064	0.02%	0.01%
HCl	0.1436	0.0039	0.01%	0.01%
H ₃ PO ₄	1.1365	0.0116	0.07%	0.02%
N ₂	1,158.7574	41.3842	70.20%	70.40%
O ₂	113.4723	3.5460	6.87%	6.03%
Global =>	1,650.67	58.79	100.00%	100.00%

4.8.4 Balance de masa en base átomo.

En este punto, es posible reportar el balance del proceso de incineración en base átomo debido a que se ha definido "todo lo que entra" al proceso y se ha calculado "todo lo que sale". El reporte se presenta en la Tabla 4.5.

4.8.5 Cálculo de la temperatura de salida de los productos de combustión con el quemador operando a su máxima capacidad.

La figura 4.1 representa el proceso de incineración llevado a cabo por el horno crematorio.

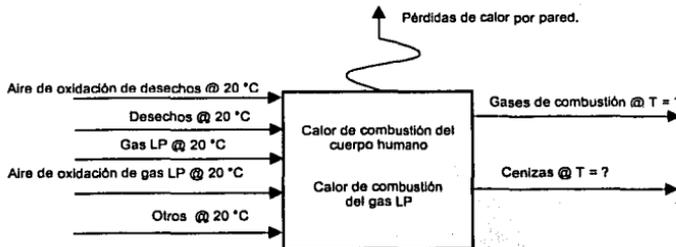


Figura 4.1 Diagrama esquemático del proceso de incineración con el quemador operando.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Tabla 4.5 Reporte del balance en base átomo del proceso de incineración.

ENTRADA								
CORRIENTE	FLUJO (lb/h)							
	C	H	O	N	S	P	Cl	Otros
CUERPO (BASE SECA)	23.50	2.67	2.23	2.64	0.21	0.36	0.14	2.59
AGUA EN EL DESECHO	-	7.62	60.94	-	-	-	-	-
AIRE DE OXIDACION	-	-	164.81	542.54	-	-	-	-
GAS LP	35.45	7.60	-	-	-	-	-	-
AIRE DE COMBUSTION (GAS LP)	-	-	186.39	613.57	-	-	-	-
TOTAL	58.96	17.88	414.37	1,158.76	0.21	0.36	0.14	2.59

SALIDA									
CORRIENTE	FLUJO MASICO (lb/h)	FLUJO (lb/h)							
		C	H	O	N	S	P	Cl	Otros
CO ₂	216.18	58.96	-	157.22	-	-	-	-	-
H ₂ O	160.57	-	17.84	142.73	-	-	-	-	-
SO ₂	0.41	-	-	0.21	-	0.21	-	-	-
HCl	0.14	-	0.00	-	-	-	-	0.14	-
H ₃ PO ₄	1.14	-	0.03	0.74	-	-	0.36	-	-
N ₂	1,158.76	-	-	-	1,158.76	-	-	-	-
O ₂	113.47	-	-	113.47	-	-	-	-	-
OTROS	2.59	-	-	-	-	-	-	-	2.59
TOTAL		58.96	17.88	414.37	1,158.76	0.21	0.36	0.14	2.59
		0	0	0	0	0	0	0	0

DIFERENCIA = ENTRADA - SALIDA

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Para efectuar el cálculo de la temperatura de salida de los gases de combustión, se realiza el balance de energía, en el que se considera, para el cálculo de las entalpías, tanto el agua contenida en los desechos, como la generada en el proceso de combustión, ya que se está utilizando el poder calorífico alto del desecho y del gas LP.

La entalpía de una sustancia no es un valor que se exprese puntualmente, sino a través de diferencias con respecto a una temperatura de referencia, la cual resulta arbitraria, siempre y cuando se mantenga dicha temperatura como la de referencia en todos los términos implicados en el balance de energía. Por conveniencia (para reducir términos), en este caso se considerará una temperatura de referencia de 20 °C (la temperatura ambiente), por lo que se tiene lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 H_{\text{cuerpo}} \Big|_{20^{\circ}\text{C}}^{20^{\circ}\text{C}} + H_{\text{aoc}} \Big|_{20^{\circ}\text{C}}^{20^{\circ}\text{C}} + H_{\text{gas-LP}} \Big|_{20^{\circ}\text{C}}^{20^{\circ}\text{C}} + H_{\text{aig}} \Big|_{20^{\circ}\text{C}}^{20^{\circ}\text{C}} + Q_{\text{comb-cuerpo}} + Q_{\text{comb-gas-LP}} \\
 = \\
 Q_{\text{pared}} + H_{\text{gases-comb}} \Big|_{20^{\circ}\text{C}}^{T=?} + H_{\text{Otros}} \Big|_{20^{\circ}\text{C}}^{T=?}
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

donde:

H_{cuerpo}	= Entalpía del cuerpo humano.
H_{aoc}	= Entalpía del aire de oxidación del cuerpo humano.
$H_{\text{gas-LP}}$	= Entalpía del gas LP.
H_{aig}	= Entalpía del aire de combustión del gas LP.
$Q_{\text{comb-cuerpo}}$	= Calor de combustión del cuerpo humano.
$Q_{\text{comb-gas-LP}}$	= Calor de combustión del gas LP.
Q_{pared}	= Calor perdido a través de las paredes del crematorio.
$H_{\text{gases-comb}}$	= Entalpía de los gases de combustión.
H_{Otros}	= Entalpía de los componentes del cuerpo que quedan sin incinerarse (huesos y demás componentes del cuerpo).

Los primeros cuatro términos del lado izquierdo de la ecuación (8) son iguales a cero, por lo que la ecuación se reduce a:

$$Q_{\text{comb-cuerpo}} + Q_{\text{comb-gas-LP}} = Q_{\text{pared}} + H_{\text{gases-comb}} \Big|_{20^{\circ}\text{C}}^{T=?} + H_{\text{Otros}} \Big|_{20^{\circ}\text{C}}^{T=?}
 \tag{9}$$

Se tiene que:

$Q_{\text{comb-cuerpo}}$	= 302,772 BTU/h
$Q_{\text{comb-gas-LP}}$	= 685,494 BTU/h
Q_{pared}	= 73,625 BTU/h

Por lo que:

$$Q_{comb-cuerpo} + Q_{comb-gas-LP} - Q_{pared} = 914,641 \text{ BTU/h} \quad (10)$$

Y:

$$H_{gases-comb} \Big|_{20^{\circ}C}^{T=7} + H_{Otros} \Big|_{20^{\circ}C}^{T=7} = 914,641 \text{ BTU/h} \quad (11)$$

La entalpía de los gases de combustión se calcula como:

$$H_{gases-comb} \Big|_{20^{\circ}C}^{T=7} = \sum_{i=1}^n (M_i * Cp_i) * (T - T_0) \quad (12)$$

donde:

- M_i = Flujo másico del componente i.
- Cp_i = Calor específico del componente i.
- T = Temperatura de salida de los gases de combustión.
- T_0 = Temperatura de referencia (20 °C, en este caso).

Los valores específicos de los gases de combustión y los flujos molares de los mismos, expresados en gmol, se presentan en la Tabla 4.6. y 4.7 respectivamente.

Tabla 4.6 Calores específicos de cada compuesto en los gases de combustión¹³.

COMPUESTO	Cp° [=] cal/gmol K (T [=] K)
CO ₂	$10.34 + 0.00274T - (195500 / T^2)$
H ₂ O líquida*	18
H ₂ O vapor	$8.22 + 0.00015T + 1.3E-06T^2$
SO ₂	$7.7 + 0.0053T - 8.3E-07T^2$
H ₃ PO ₄ líquido**	73.5
H ₃ PO ₄ vapor**	73.6
HCl gas	$6.7 + 0.00084T$
N ₂	$6.5 + 0.001T$
O ₂	$8.27 + 0.000258T - 187700/T^2$

* Valor promedio.

** Valor promedio, estimado.

¹³ Referencia 18.

Tabla 4.7 Flujos máscicos y molares de los gases de combustión.

COMPUESTO	FLUJO MÁSCICO lb/h	FLUJO MOLAR gmol/h
CO ₂	216.18	2,228.58
H ₂ O	160.57	4,046.35
SO ₂	0.41	2.92
HCl	0.14	1.78
H ₃ PO ₄	1.14	5.26
N ₂	1,158.76	18,771.87
O ₂	113.47	1,608.47
TOTAL	1,650.67	26,665.22

La integración del calor específico en función de la temperatura, entre los límites T y T_0 , proporcionan el valor de la entalpía del compuesto en cuestión. Integrando dC_p entre T_0 y T , se tiene lo siguiente:

Para el CO₂:

$$H_{CO_2} = \int_{T_0}^T C_p dT = 10.34(T - T_0) + 0.00274 \left(\frac{T^2 - T_0^2}{2} \right) + 195500 \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \quad (13)$$

La entalpía molar del agua líquida es:

$$H_{H_2O(l)} = C_p(T_{ebullición} - T_0) = 18(T_{ebullición} - T_0) \quad (14)$$

La entalpía molar de vaporización del agua es:

$$H_{vap,H_2O} = 9791 \text{ cal/gmol.}$$

La entalpía molar del agua vapor es:

$$H_{H_2O} = \int_{T_0}^T C_p dT = 8.22(T - T_{ebullición}) + 0.00015 \left(\frac{T^2 - T_0^2}{2} \right) + 1.34E - 6 \left(\frac{T^3 - T_0^3}{3} \right) \quad (15)$$

Para el SO₂:

$$H_{SO_2} = \int_{T_0}^T C_p dT = 7.7(T - T_0) + 0.0053 \left(\frac{T^2 - T_0^2}{2} \right) - 8.3E - 7 \left(\frac{T^3 - T_0^3}{3} \right)$$

Para el HCl: (16)

$$H_{HCl} = \int_{T_0}^T C_p dT = 6.7(T - T_0) + 0.00084 \left(\frac{T^2 - T_0^2}{2} \right)$$

La entalpía molar del H₃PO₄ líquido es:

$$H_{H_3PO_4(l)} = C_p(T_{ebullición} - T_0) = 73.5(T_{ebullición} - T_0)$$
(18)

La entalpía molar de vaporización del H₃PO₄ es:

$$H_{vap, H_3PO_4} = 15992 \text{ cal/gmol.}$$

La entalpía molar del H₃PO₄ vapor es:

$$H_{H_3PO_4} = C_p(T_{ebullición} - T_0) = 73.6(T - T_{ebullición})$$
(19)

Para el N₂:

$$H_{N_2} = \int_{T_0}^T C_p dT = 6.5(T - T_0) + 0.001 \left(\frac{T^2 - T_0^2}{2} \right)$$
(20)

Para el O₂:

$$H_{O_2} = \int_{T_0}^T C_p dT = 8.27(T - T_0) + 0.000258 \left(\frac{T^2 - T_0^2}{2} \right) + 187700 \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)$$
(21)

Como ya se había mencionado, en el cálculo de la entalpía del agua se considera la suma de las entalpías del líquido, de vaporización y del vapor. Sucede lo mismo en el caso del ácido orto fosfórico.

La temperatura de ebullición del agua se tomará de 95 °C (368.15 K) y la del ácido orto fosfórico de 213 °C (486.15 K). La temperatura de referencia es de 20 °C (293.15 K).

La evaluación de H_{Otros} se realizará considerando que el flujo másico de los sólidos residuales es de 2.6 lb/h y su C_p se considera de 0.15 BTU/lb °F¹⁴. Por lo que:

$$H_{Otros} = \int_{T_0}^T M_{Otros} C_p dT = 0.15(T - T_0)$$
(22)

¹⁴ Referencia 5, p. 486.

La temperatura de salida de los productos de combustión, se encuentra por prueba y error, calculando los valores de $H_{\text{gases-comb}}$ y H_{Otros} a diferentes temperaturas, hasta que la suma de estos términos iguale la cantidad determinada en el balance de energía, es decir, 914,641 BTU/h

En la Tabla 4.8 se reportan los valores de la $H_{\text{gases-comb}}$ para cada uno de ellos, obtenidos a diferentes temperaturas. En la Tabla 4.9 se reportan los valores de la $H_{\text{gases-comb}}$ total y los valores de H_{Otros} expresados en BTU/h que fueron obtenidos a las mismas temperaturas de la Tabla 4.8. Se puede apreciar que la temperatura de los productos de combustión, con base en el balance presentado, es de 904.44 °C, ya que a esa temperatura se cumple la igualdad planteada en la ecuación (9) (se obtiene la menor diferencia).

Tabla 4.8 Evaluación de entalpías de gases de combustión a diferentes temperaturas.

T (K)	H (CO ₂) cal/h	H (H ₂ O) cal/h	H (SO ₂) cal/h	H (HCl) cal/h	H (H ₃ PO ₄) cal/h	H (N ₂) cal/h	H (O ₂) cal/h	TOTAL cal/h
1177.54	23234302.67	75241957.13	28617.53	11545.66	426410.00	120118694.07	11260578.29	230322105.35
1177.55	23234601.87	75242372.07	28617.91	11545.80	426413.87	120120135.29	11260714.02	230324400.82
1177.56	23234901.07	75242787.01	28618.28	11545.93	426417.74	120121576.51	11260849.75	230326696.29
1177.57	23235200.27	75243201.96	28618.65	11546.07	426421.61	120123017.73	11260985.48	230328991.77
1177.58	23235499.47	75243616.90	28619.03	11546.21	426425.48	120124458.96	11261121.21	230331287.25
1177.59	23235798.67	75244031.85	28619.40	11546.34	426429.35	120125900.18	11261256.94	230333582.73
1177.60	23236097.87	75244446.79	28619.77	11546.48	426433.23	120127341.41	11261392.67	230335878.22
1177.61	23236397.07	75244861.74	28620.15	11546.62	426437.10	120128782.64	11261528.40	230338173.71
1177.62	23236696.27	75245276.69	28620.52	11546.76	426440.97	120130223.87	11261664.13	230340469.20
1177.63	23236995.47	75245691.64	28620.89	11546.89	426444.84	120131665.11	11261799.86	230342764.70

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 4.9 Suma de entalpías de sólidos residuales y de gases de combustión a diferentes temperaturas.

T (K)	T (°C)	H(sólidos) BTU/h	H (gases) BTU/h	TOTAL BTU/h	DIFERENCIA 914641- TOTAL
1177.54	904.39	617.3489	913976.609	914593.957	-47.1894
1177.55	904.4	617.3559	913985.718	914603.073	-38.0734
1177.56	904.41	617.3629	913994.827	914612.189	-28.9574
1177.57	904.42	617.3699	914003.936	914621.305	-19.8414
1177.58	904.43	617.3769	914013.045	914630.421	-10.7254
1177.59	904.44	617.3838	914022.154	914639.538	-1.6093
1177.60	904.45	617.3908	914031.263	914648.654	7.5067
1177.61	904.46	617.3978	914040.372	914657.77	16.62279
1177.62	904.47	617.4049	914049.481	914666.886	25.7389
1177.63	904.48	617.4118	914058.59	914676.002	34.8550

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.8.6 Cálculo de la temperatura de salida de los productos de combustión con los quemadores apagados.

El cálculo de la temperatura de salida de los productos de combustión con los quemadores apagados se realiza para verificar que la combustión de la carga se sostenga, una vez que los quemadores sean apagados. La figura 4.2 representa esta condición del proceso de incineración.

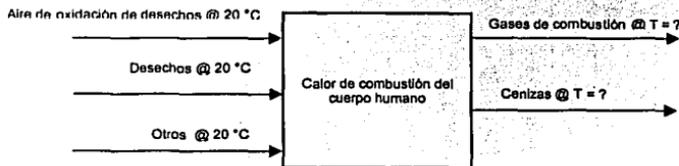


Figura 4.2 Diagrama esquemático del proceso de incineración con el quemador apagado.

Para efectuar el cálculo de la temperatura de salida de los gases de combustión, teniendo el quemador apagado, se realiza el balance de energía, en el que se considera, para el cálculo de las entalpías, sólo el agua contenida en los desechos y no el total del agua generada en el proceso de combustión, ya que esta última se encuentra considerada en el poder calorífico neto de las especies que se queman. Además sólo se consideran los productos de combustión de los desechos, los cuales se presentan en la Tabla 4.10.

Al igual que en el balance anterior, por conveniencia se considera una temperatura de referencia de 20 °C para el balance de energía, por lo que se tiene lo siguiente:

$$H_{\text{cuerpo}} \Big|_{20^{\circ}\text{C}}^{20^{\circ}\text{C}} + H_{\text{aoc}} \Big|_{20^{\circ}\text{C}}^{20^{\circ}\text{C}} + Q_{\text{comb-cuerpo}} = H_{\text{gases-comb}} \Big|_{20^{\circ}\text{C}}^{T=?} + H_{\text{Otras}} \Big|_{20^{\circ}\text{C}}^{T=?} \quad (23)$$

Tabla 4.10 Flujos máxicos y molares de los productos de combustión cuando el quemador se encuentra apagado.

COMPUESTO	FLUJO MÁXICO lb/h	FLUJO MOLAR gmol/h
CO ₂	86.17	889.17
H ₂ O	68.55	1,729.05
SO ₂	0.41	2.92
N ₂	545.19	8,839.81
O ₂	82.41	1,169.15
TOTAL	782.73	12,630.10

Los primeros dos términos del lado izquierdo de la ecuación (23) son nulos, por lo que la ecuación se reduce a:

$$Q_{\text{comb-cuerpo}} = H_{\text{gases-comb}} \Big|_{20^{\circ}\text{C}}^{T=7} + H_{\text{Otros}} \Big|_{20^{\circ}\text{C}}^{T=7} \quad (24)$$

Se tiene que:

$$Q_{\text{comb-cuerpo}} = 302,772 \text{ BTU/h}$$

Por lo que:

$$Q_{\text{comb-cuerpo}} + Q_{\text{comb-gas-LP}} - Q_{\text{pared}} = 302,772 \text{ BTU/h} \quad (25)$$

Y:

$$H_{\text{gases-comb}} \Big|_{20^{\circ}\text{C}}^{T=7} + H_{\text{Otros}} \Big|_{20^{\circ}\text{C}}^{T=7} = 302,772 \text{ BTU/h} \quad (26)$$

La entalpía de los gases de combustión se calcula como en el procedimiento anterior, de acuerdo a la fórmula planteada en la ecuación (22). La integración del calor específico en función de la temperatura, entre los límites T y T₀, proporcionan nuevamente el valor de la entalpía del compuesto en cuestión.

Para el cálculo de la entalpía del agua se considera la suma de las entalpías del líquido, la de vaporización y la del vapor de agua.

Por similitud con el cálculo anterior, la temperatura de salida de los productos de combustión con los quemadores apagados, se encuentra por prueba y error, calculando los valores de H_{gases-comb} y H_{Otros} a diferentes temperaturas, hasta que la suma de estos términos iguale la cantidad determinada en el balance de energía, esto es 302,772 BTU/h

En la Tabla 4.11 se reportan los valores de la H_{gases-comb} obtenidos a diferentes temperaturas. En la Tabla 4.12 se reportan los valores de la H_{gases-comb} y los valores de H_{Otros} en BTU/h, obtenidos a las mismas temperaturas de la Tabla 4.11. Se puede apreciar que la temperatura de los productos de combustión, con base en el balance presentado, es de 618.59 °C, ya que a esa temperatura se cumple la igualdad planteada en la ecuación (26) (se obtiene la menor diferencia).

4.9 Resumen de Condiciones y Resultados.

En la tabla 4.13 se presenta el resumen final de condiciones y resultados arrojados por el balance de masa y energía del proceso, los cuales conforman el diseño termodinámico del incinerador crematorio de restos humanos.

Tabla 4.11 Evaluación de entalpías de gases de combustión generados con el quemador apagado, a diferentes temperaturas.

T (K)	H (CO ₂) cal/h	H (H ₂ O) cal/h	H (SO ₂) cal/h	H (N ₂) cal/h	H (O ₂) cal/h	TOTAL cal/h
891.52	5966920.049	27296128.9	18381.9777	37514756	5390036.65	76186223.62
891.53	5967031.522	27296291.8	18382.3212	37515409.4	5390133.27	76187248.30
891.54	5967142.995	27296454.6	18382.6646	37516062.8	5390229.89	76188272.99
891.55	5967254.469	27296617.5	18383.0081	37516716.2	5390326.51	76189297.68
891.56	5967365.943	27296780.3	18383.3516	37517369.6	5390423.12	76190322.37
891.57	5967477.417	27296943.2	18383.695	37518023	5390519.74	76191347.06
891.58	5967588.892	27297106.0	18384.0385	37518676.4	5390616.36	76192371.76
891.59	5967700.366	27297268.9	18384.382	37519329.8	5390712.97	76193396.45
891.60	5967811.841	27297431.8	18384.7254	37519983.2	5390809.59	76194421.15
891.61	5967923.317	27297594.6	18385.0689	37520636.6	5390906.21	76195445.85

Tabla 4.12 Suma de entalpías de sólidos residuales y de gases de combustión generados con el quemador apagado, a diferentes temperaturas.

T (K)	T (°C)	H(sólidos) BTU/h	H (gases) BTU/h	TOTAL BTU/h	DIFERENCIA 302,772- TOTAL
891.52	618.52	417.69	302326.28	302,743.98	28.4903
891.53	618.53	417.70	302330.35	302,748.05	24.4171
891.54	618.54	417.71	302334.42	302,752.12	20.3439
891.55	618.55	417.71	302338.48	302,756.20	16.2707
891.56	618.56	417.72	302342.55	302,760.27	12.1974
891.57	618.57	417.73	302346.62	302,764.34	8.1242
891.58	618.58	417.73	302350.68	302,768.42	4.0510
891.59	618.59	417.74	302354.75	302,772.49	-0.0222
891.60	618.60	417.75	302358.81	302,776.56	-4.0955
891.61	618.61	417.76	302362.88	302,780.64	-8.1687

Tabla 4.13 Resumen final de condiciones y resultados del diseño termodinámico.

RESUMEN FINAL DE CONDICIONES			
Capacidad horaria del incinerador:		46.7	kg/h
		102.9	lb/h
Orgánicos: 33.37%	Agua: 66.63%		
Aire de oxidación requerido para los desechos:		707	lb/h
Exceso de aire =>	100.00%	205	CFM reales
Temperatura del aire de oxidación:		20	°C
Presión barométrica en la Cd. de México (585 mmHg):		0.770	atm
Gas LP requerido en operación normal:		303	CFH @ TPN
Aire de Combustión requerido en operación normal:		800.0	lb/h
		167	CFM @ TPN
26,236	CFH AIRE TOTAL REAL	232	CFM reales
Exceso de aire considerado:		20.0	%
Poder calorífico del desecho considerado:		8,820	BTU/lb B.S.
Calor adicional suministrado en el quemador:		6,663	BTU/lb B.H.
Calor total generado en el interior del Horno:		914,641	BTU/h
Temperatura de los gases de salida del Horno:		904	°C
Cantidad de gases de salida del Horno:		352	CFM @ TPN
		1,971	CFM reales
En masa:			
CO ₂ =	216.18	lb/h	13.10%
H ₂ O =	160.57	lb/h	9.73%
SO ₂ =	0.41	lb/h	0.02%
HCl =	0.14	lb/h	0.01%
H ₃ PO ₄ =	1.14	lb/h	0.07%
N ₂ =	1,158.76	lb/h	70.20%
O ₂ =	113.47	lb/h	6.87%
Total =>	1,650.67	lb/h	100%
En mol:			
CO ₂ =	4.91	lbmol/h	8.36%
H ₂ O =	8.92	lbmol/h	15.17%
SO ₂ =	0.01	lbmol/h	0.01%
HCl =	0.00	lbmol/h	0.01%
H ₃ PO ₄ =	0.01	lbmol/h	0.02%
N ₂ =	41.38	lbmol/h	70.40%
O ₂ =	3.55	lbmol/h	6.03%
Total =>	58.79	lbmol/h	100%
Cantidad total de sólidos (cenizas) a la salida:		2.6	lb/h

Capítulo 5

CRITERIOS DE DISEÑO MECÁNICO E INSTRUMENTACIÓN DEL EQUIPO.

En el presente capítulo primero se presentan los estándares de diseño mecánico de los incineradores de residuos patológicos, que posteriormente son aplicados a los cálculos dimensionales del incinerador crematorio.

5.1 Características de diseño de la cámara de ignición.

Las dimensiones de la cámara de ignición de un incinerador de residuos patológicos, son determinadas por la carga, el área del hogar, la altura promedio del arco del techo y el volumen de la cámara, por medio de las figuras 5.1 y 5.2, y de los factores presentados en la Tabla 5.1. La capacidad del quemador de la cámara de ignición puede ser determinada de la figura 5.3, la cual se presenta sólo con fines informativos debido a que con el balance de materia y energía realizado anteriormente, se determinó la capacidad del quemador requerida. El máximo calor liberado con respecto a la capacidad calorífica del combustible, se obtiene de la figura 5.4. Como puede observarse, este valor oscila entre los 20,000 a 15,000 BTU /h pie² para tamaños de 30 a 200 lb /h.

Las proporciones longitud - ancho para el hogar, no son críticas. Para proveer la deposición de una sola capa de material sobre el hogar, con la exposición máxima resultante del mismo a las flamas del quemador, se ha encontrado que la proporción más práctica es de 2:1, con una desviación permisible de $\pm 20\%$.

La localización del quemador de gas en la cámara de ignición es el aspecto más crítico del diseño de un incinerador de residuos patológicos. Las flamas del quemador deben incidir directamente sobre el material a ser incinerado o se producirá un excesivo consumo de combustible. Para lograr la máxima penetración de calor dentro de la materia a ser cremada, se requiere un quemador de presión de retención de flama equipado con un soplador y controles completos de seguridad. Los incineradores mayores requieren quemadores múltiples con el objeto de distribuir el calor sobre la mayor área resultante.

La figura 5.3 muestra que la máxima utilización de combustible en una configuración de retorta se logra con un área de hogar de aproximadamente 12 pies². Conforme el área del hogar se incrementa o disminuye, el requerimiento de combustible aumenta, por lo que el diseño de retorta no debe ser utilizado con un área de hogar mayor a 22 pies². Un análisis de la configuración revela la razón de este fenómeno y de nuevo confirma la vital importancia de la localización del quemador: en la configuración de retorta, sólo una pared se encuentra disponible para los quemadores y se produce una distribución inadecuada de la flama si el área del hogar es mayor a los 22 pies² recomendados. Una posible alternativa consiste en localizar los quemadores en el arco del techo del incinerador.

El tamaño y la forma de la cámara de ignición en las unidades crematorias, es dictada por la dimensión del cuerpo humano. Los mismos factores que influyen el diseño

de otro tipo de unidades incineradoras de residuos patológicos deben sin embargo ser utilizados en cuanto a todos los demás parámetros de la cámara de ignición del crematorio.

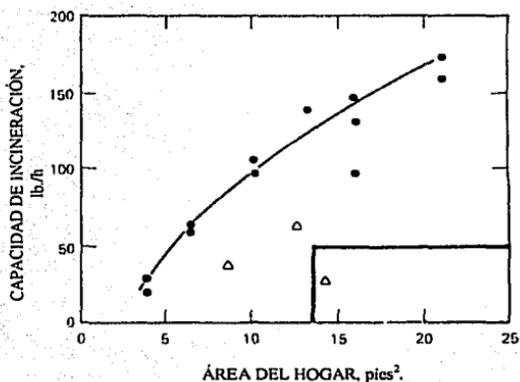


Figura 5.1. Gráfica para determinar el área del hogar en función de la capacidad de incineración de residuos patológicos.
Fuente: Referencia 5, p.487.

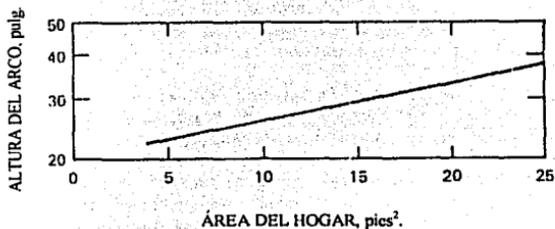


Figura 5.2. Gráfica para determinar la altura del arco del techo de la cámara de ignición, en función del área del hogar.
Fuente: Referencia 5, p. 487.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

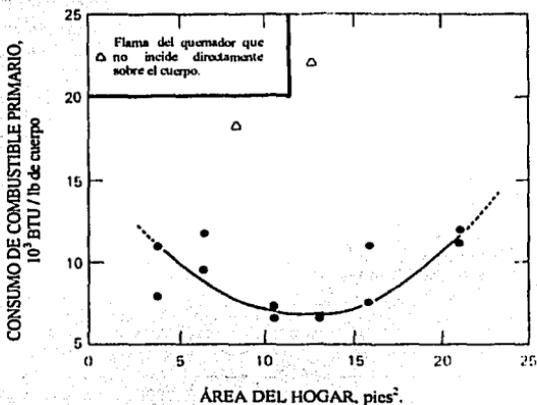


Figura 5.3 Gráfica para determinar el consumo de combustible primario en función del área del hogar.
Fuente: Referencia 5, p. 488.

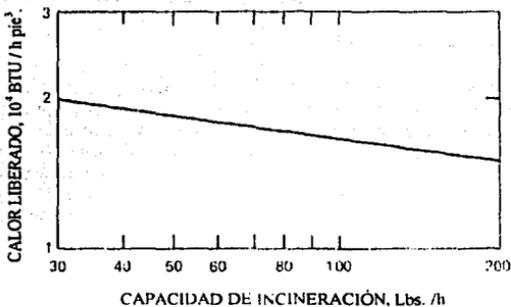


Figura 5.4 Determinación del calor liberado por el combustible en función de la capacidad de incineración.
Fuente: Referencia 5, p. 488.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Tabla 5.1 Velocidades de los gases y tiro recomendados para Incineradores de Residuos Patológicos con paso de gases calientes por debajo de un hogar sólido.

Velocidades de Gases		
Zona	Valores Recomendados	Desviación permisible (%)
Puerto de Flama @ 1600 °F	15 pies / s	± 20
Cámara de Mezclado @ 1600 °F	15 pies / s	± 20
Puerto al fondo de la cámara de mezclado @ 1550 °F.	15 pies / s	± 20
Cámara por debajo del hogar @ 1400 °F.	8 pies / s	± 50
Puerto al fondo de la cámara de combustión @ 1400 °F.	10 pies / s	± 20
Cámara de combustión @ 1200 °F.	5 pies / s	± 50
Chimenea @ 1000 °F.	15 pies / s	± 25
Tiro		
Zona	Valores Recomendados	Desviación permisible (%)
Cámara de combustión	0.20 a 0.25" pulg. columna de agua.	± 10
Cámara de ignición	0.05 a 0.10 pulg. columna de agua.	± 0

* El tiro puede ser de 0.20 pulg. columna de agua para incineradores con hogar frío.
Fuente: Referencia 5, p. 487.

5.2 Zona de combustión secundaria.

Los parámetros de velocidad presentados en la tabla 5.1 no resultan demasiado críticos para el diseño de las unidades de incineración de residuos patológicos, debido a que la relativamente pequeña cantidad de material combustible en los residuos no representa un problema verdaderamente importante para lograr la combustión completa. Se ha encontrado que la descarga de partículas de estos incineradores es muy ligera, siendo la velocidad efectiva de destrucción de los residuos la consideración principal de diseño. Cuando un depósito de tejido adiposo o cabello, es expuesto a una flama o gases a alta temperatura, se volatiliza rápidamente, lo que causa un exceso de gases y vapores que podría ser superior a la capacidad de la zona de combustión secundaria, cuando ésta es diseñada con base en una capacidad promedio de operación. Estos periodos de volatilización súbita originan cantidades considerables de gases sin incinerar y vapores que salen como humo denso visible.

Para evitar esta condición indeseable, el diseño de una zona de combustión secundaria debe realizarse considerando una baja velocidad del movimiento del gas a

volúmenes promedio, lo que proporcionará una combustión completa, aún durante los periodos de velocidad de combustión anormalmente altos.

En los incineradores de residuos patológicos, es necesaria la instalación de un quemador auxiliar adicional, localizado en la zona de combustión secundaria. El tipo y localización del quemador no son tan críticos como lo son para la cámara de ignición. Los mezcladores atmosféricos equipados con controles completamente seguros son adecuados para los incineradores que trabajan a 100 lb/h o menos, pero en las unidades mayores, es necesaria una boquilla de mezclado para obtener la incineración óptima.

Se requiere que la capacidad del quemador sea la suficiente para mantener una temperatura de los gases de 1600 °F (871 °C). Para lograrlo, el quemador debe ser localizado de forma que el flujo gaseoso de la cámara de ignición pueda primero mezclarse con el aire secundario introducido, antes de que fluya a través de la flama del quemador. Flujo abajo del quemador, la cámara de mezclado debe ser diseñada para que proporcione el espacio adecuado para que ocurra la combustión secundaria.

Los parámetros para la zona de combustión secundaria de los hornos crematorios, se basarán en los mismos factores dados para los incineradores de residuos patológicos comunes.

5.3 Diseño de la chimenea.

Los cálculos para diseñar la chimenea deben basarse en una temperatura del gas de 1000 °F (538 °C). La velocidad de diseño para la chimenea debe ser de 15 pies /s o menos. La altura del arco debe ser determinada para que proporcione un tiro disponible mínimo de 0.20 pulg. C. A. Este es el tiro mínimo que debe proveerse para los incineradores de residuos patológicos. Cuando se dispone de un pasaje de gases calientes por debajo del hogar, el tiro de la chimenea mínimo disponible, debe incrementarse en un 10%. Este tiro adicional compensará la resistencia adicional del flujo de gas en el incinerador, causada por esta peculiaridad del diseño mismo. La cámara por debajo del hogar no es un requerimiento esencial y puede ser eliminada, especialmente en las unidades de menos de 100 lb/h de capacidad.

5.4 Requerimientos de tubería.

Los requerimientos de tubería para el suministro de gas combustible deben ser determinados tomando en cuenta que la tubería debe ser dimensionada para suministrar la capacidad máxima total de los quemadores utilizados en las cámaras de ignición y combustión secundaria.

5.5 Configuración de Diseño del Incinerador.

Existen muchas configuraciones de diseño posibles que podrían ser utilizadas en la construcción de incineradores de residuos patológicos. Algunas se ilustran en las figuras 5.5, 5.6 y 5.7.

La figura 5.5 muestra una adaptación del diseño para un incinerador de cámara múltiple del tipo de retorta para la destrucción de residuos patológicos. En esta adaptación, tres diferencias en la configuración son inmediatamente visibles:

- a) El uso de un hogar sólido en lugar de una parrilla.
- b) La provisión de calentar el hogar por el paso de los productos de combustión desde la cámara de mezclado a través de la cámara inferior, antes de que los gases abandonen la cámara de combustión.
- c) La puerta de carga lateral, la cual es necesaria para la carga frecuente de componentes individuales mayores en los residuos patológicos.

Las dimensiones de los incineradores de residuos patológicos de cámara múltiple se presentan en la figura 5.8. Los componentes individuales de los residuos patológicos son frecuentemente grandes y la carga debe ponerse sobre el hogar en una sola capa de componentes para proporcionar la exposición máxima del área superficial a la flama del quemador. Estos dos factores hacen necesario el diseño de una abertura de carga con las dimensiones de ancho y largo cercanas a las dimensiones máximas de la cámara de ignición. La puerta de carga lateral, como en la incineración de los desechos de basura en general, evita la emisión de materia particular excesiva en este tipo de incineradores.

La figura 5.6 ilustra una retorta para la incineración de residuos patológicos, que ha sido añadida a un incinerador de cámara múltiple estándar. Cuando este incinerador es utilizado, los gases de la retorta deben atravesar la parte posterior de la cámara de ignición del incinerador estándar. El diseño de retorta, incorpora los factores dados para el diseño de la cámara de ignición de un incinerador de residuos patológicos. El diseño de las partes restantes de la combinación de este incinerador se ve sólo ligeramente influenciado por la adición de esta retorta en la mayoría de las circunstancias. Con la finalidad de prevenir la restricción del flujo de los productos de combustión de la cámara, el paso del gas desde la cámara debe ser diseñado para alrededor de 10 pies /s.

La figura 5.7 ilustra un horno crematorio del tipo en línea. Esta ilustración es sólo un ejemplo y pueden encontrarse muchas variaciones. De forma peculiar, estos incineradores crematorios proporcionan una flama a lo largo de la longitud de una cámara poco profunda, angosta y larga. El diseño ilustrado emplea un "hogar caliente". Otros diseños proporcionan el paso de la flama en todos los lados de la carga, incluyendo la parte de abajo. El principio del hogar caliente no es siempre utilizado en los crematorios de retorta. La unidad ilustrada no fue originalmente diseñada con quemadores secundarios; estos quemadores fueron añadidos posteriormente en el pasaje del gas, debajo de la cámara de ignición primaria, para eliminar el humo.

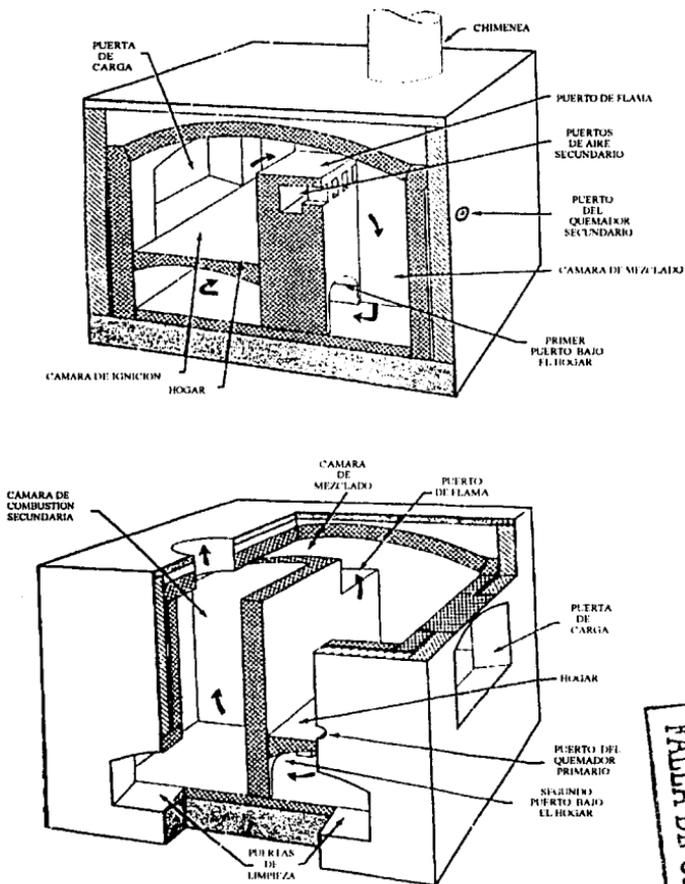


Figura 5.5 Incinerador de residuos patológicos de cámara multiple.

Fuente: Referencia 5, p. 490.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

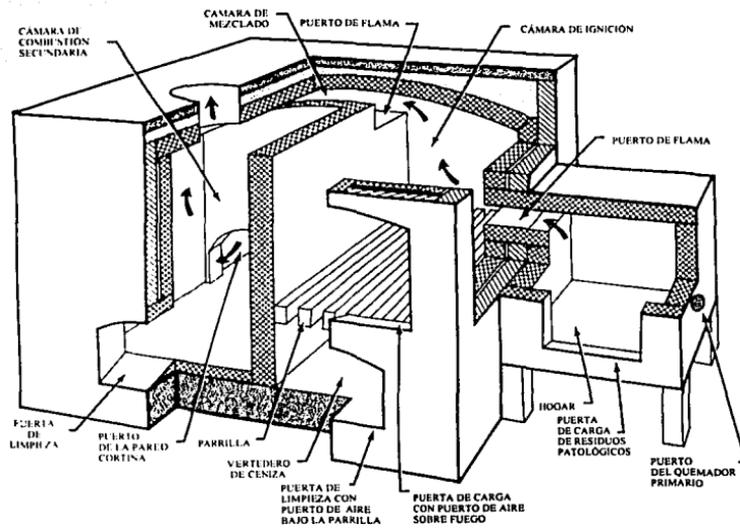


Figura 5.6 Incinerador de residuos patológicos de cámara múltiple del tipo de retorta.
Fuente: Referencia 5, p. 490.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

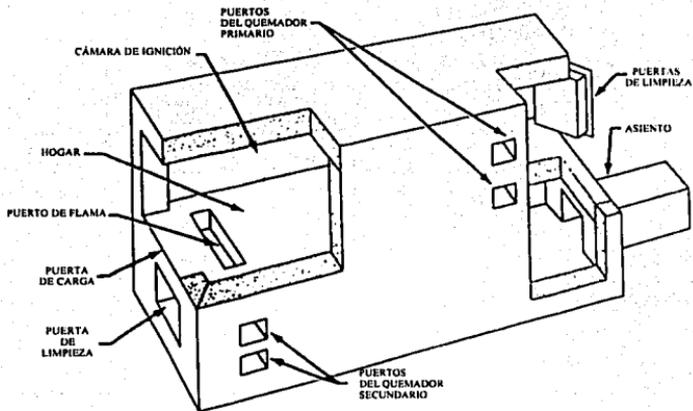
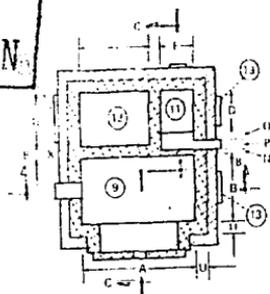


Figura 5.7 Horno crematorio del tipo en línea.

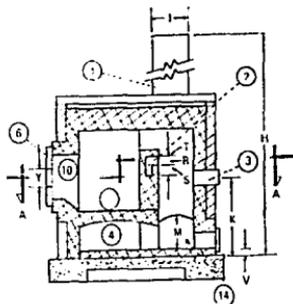
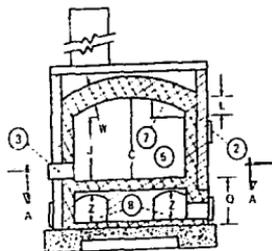
Fuente: Referencia 5, p. 491.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



1. Chimenea.
2. Puerto de aire secundario.
3. Quemadores de gas.
4. Cámara por debajo del hogar.
5. Hogar refractario.
6. Puerta de carga.
7. Puerto de flama.
8. Puerto bajo el hogar.
9. Cámara de ignición.
10. Puerto de aire sobre fuego.
11. Cámara de mezclado.
12. Cámara de combustión.
13. Puerta de limpieza.
14. Puerto de la pared cortina.



Capacidad (lb/h)	LONGITUD, PULGADAS.																									
	A	B	C	D	E	F	G	H*	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
50	38½	20½	25	13½	11½	22½	18	20	14	25	34	8	11½	4½	2½	2½	20½	4½	2½	2½	4½	2½	4½	4½	4	0
100	54	27	26	18	13½	26	22½	22	16	26	38	12	0	4½	2½	2½	25	4½	2½	2½	4½	2½	4	4½	6	16
150	63	36	28½	22½	18	36	27	25	20	28½	44	13	0	4½	4½	4½	33½	4½	2½	2½	0	4½	4½	9	9	20
200	72	42½	33	24	22½	45	36	31	24	36	48	14	0	7	4	4	35	0	2½	2½	0	6½	0	9	10	22

* Dimensión "H" dada en pies.

Figura 5.8 Dimensiones para incineradores de residuos patológicos de cámara múltiple. Fuente: Referencia 5, p. 492.

5.6 Estndares de construccin.

El uso de refractarios de extra calidad para servicio rudo o su equivalente refractario plstico o moldeado, resulta imperativo en estas unidades. La construccin del hogar debe de contar con la resistencia fsica necesaria, a elevadas temperaturas, para soportar la mxima carga posible. Particularmente en los incineradores de residuos patolgicos, la carga inicial del material sobre el hogar puede tener un peso total que sobrepasa la capacidad horaria de la unidad, por lo que cuando se realizan los clculos para el soporte del hogar, se debe calcular la carga del hogar para dos veces la velocidad de combustin o ms.

5.7 Operacin.

La operacin de los incineradores de residuos patolgicos es, en general, ms simple que la de otros tipos de incineradores de residuos. El precalentamiento de la zona de combustin secundaria antes de la carga y operacin de estas unidades, es una buena prctica, sin embargo, cuando el incinerador comienza a operar, debe tomarse en consideracin que el quemador o quemadores primarios no deben encenderse hasta que la carga ha sido completada y la puerta de carga cerrada. El material que va a ser destruido debe disponerse sobre el hogar, de manera que proporcione la mxima exposicin a la flama del quemador primario. La sobrecarga posterior de la unidad (el poner residuos sobre la parte superior de la carga anterior), no es una buena prctica; debe tomarse cuidado en asegurar que el puerto del quemador primario no est bloqueado por algdn elemento de la carga. El ajuste del puerto de aire normalmente tiene un papel menor en la regulacin de la operacin de estos incineradores; el realizar ajustes posteriores al puerto de aire secundario normalmente no es necesario, despus de que ha sido ajustado para proporcionar una operacin adecuada bajo condiciones normales de operacin.

El nico problema operacional que se presenta, ocurre cuando grandes cantidades de tejido adiposo o de cabello son expuestas a la flama del quemador. Como se mencion anteriormente, la volatilizacin sbita de este material ocasiona la aparicin repentina de gases y vapores en la cmaras secundaria; bajo tales circunstancias, algo de humo negro puede salir de la chimenea. Esto depende del volumen del gas; si es muy grande, podra inclusive producirse la presurizacin de la cmaras de ignicin, generando humo que es forzado a salir a travs de las ranuras de la puerta de carga; cuando esto ocurre, el control operacional se obtiene reduciendo la velocidad del quemador en la cmaras de ignicin. Bajo condiciones excepcionales, puede ser necesario apagar este quemador por unos pocos minutos. Cuando se presenta humo blanco saliendo de la chimenea, se trata de una indicacin de que el aire est entrando en una cantidad que excede la capacidad de los quemadores, por lo que no se calienta suficientemente. La mejor manera de sobreponerse a esta situacin, es incrementar el flujo del combustible del quemador primario o secundario. Muy rara vez es necesario ajustar el puerto de aire secundario a una menor admisin de aire cuando persiste el humo blanco.

Un control automtico de temperatura puede ser utilizado para operar estas unidades pero el control de la temperatura debe obtenerse slo con el quemador primario. El

quemador secundario no debe ser apagado o modulado a un rango menor de operación. El elemento sensor de temperatura puede ser colocado en la cámara de combustión, la parte posterior o la chimenea. El control preciso de la temperatura en cualquiera de estos puntos se logra con la modulación o apagado del quemador primario, lo que no afecta la emisión de contaminantes del aire. Cuando el control de temperatura se intenta por el control del quemador secundario, se encontrará que es difícil lograr la respuesta deseada y las emisiones de contaminantes del aire se incrementarán cuando la velocidad de la flama del quemador es reducida o eliminada por la acción del control.

No hay un período de flama baja en la operación de los incineradores de residuos patológicos. El grado de destrucción deseado para el residuo dicta la cantidad de tiempo que el quemador primario debe operar. Algunas operaciones son normalmente interrumpidas cuando el material ha sido reducido a huesos totalmente limpios. Cuando se desea la reducción de los huesos a ceniza polvosa, los quemadores primarios se mantienen operando hasta que se consigue. Después de apagar el quemador primario, el quemador secundario debe apagarse hasta que deje de arder el material residual que se encuentre sobre el hogar en la cámara primaria.

5.8 Aplicación de los criterios de diseño de incineradores de residuos patológicos, para el diseño de un incinerador crematorio.

5.8.1. Cámara de ignición.

De la figura 5.1, el área del hogar y por lo tanto de la cámara de ignición (Aci), para una capacidad del crematorio de 102.88 lb/h, es de 10.8 pies².

La proporción longitud - ancho recomendada para el hogar es de 2:1, con una desviación permisible de $\pm 20\%$, por lo que si w es el ancho y L es la longitud de la cámara de combustión, se tiene que:

$$Aci = L * w \tag{1}$$

y:

$$L = 2w \tag{2}$$

Por lo que:

$$Aci = 2w * w = 2w^2 = 10.8 \text{ pies}^2. \tag{3}$$

Despejando w :

$$w = \sqrt{10.8/2} = 2.33 \text{ pies} = 71.1 \text{ cm}. \tag{4}$$

Por lo tanto:

$$L = 2 * 2.3300 = 4.66 \text{ pies} = 142.1 \text{ cm}. \tag{5}$$

No es posible adoptar estas dimensiones para el incinerador crematorio debido a las dimensiones propias de un cuerpo humano, por lo que si fijamos el ancho de la cámara en 91.4 cm. (3 pies) y el largo en 213.4 cm (7 pies), la desviación es de un 16.65%, lo cual es aceptable ya que es permisible hasta un 20% de desviación con respecto a la recomendación, por lo que:

$$Aci = 91.4 * 213.4 = 19504.76 \text{ cm}^2 = 21 \text{ pies}^2. \quad (6)$$

De la figura 5.2, se tiene que altura del arco, para un área de 21 pies², es de 35 pulg. (2.92 pies = 89.1 cm.), por lo que el volumen de la cámara de ignición (*Vci*) es:

$$Vci = Aci * Ha = 21 * 2.92 = 61.32 \text{ pies}^3. \quad (7)$$

5.8.2. Puertos de aire.

Para dimensionar los puertos de aire se establece alimentar el aire de oxidación y el 100% de exceso, en las proporciones indicadas en la tabla 2.1 y que se presentan a continuación (tabla 5.2).

Tabla 5.2 Distribución del aire en los puertos.

PUERTO	% AIRE TOTAL	NO. DE PUERTOS
Puertos de entrada de aire primarios.	70%	2
Puertos de entrada de aire secundarios.	30%	2

El flujo de aire de incineración es de 205 pies³/min., por lo que el volumen de aire en cada puerto es el presentado en la tabla 5.3.

Tabla 5.3 Flujo de aire en los puertos.

PUERTO	AIRE TOTAL (pies ³ /min.)	AIRE POR PUERTO (pies ³ /min.)
Volumen de aire en puertos primarios.	143.43	71.71
Volumen de aire en puertos secundarios.	61.47	30.73

Se considera que la velocidad de entrada del aire es de 1255 pies/min. a 0.1 pulg. de presión-velocidad¹⁵, por lo que el área de los puertos es obtenida dividiendo el flujo de aire por la velocidad de entrada. Las áreas así calculadas se presentan en la tabla 5.4.

¹⁵ Referencia 5, p. 486.

Tabla 5.4 Áreas de los puertos de aire.

PUERTO	ÁREA TOTAL (pulg ²)	ÁREA POR PUERTO (pulg ²)
Área de puertos primarios .	16.46	8.23
Área de puertos secundarios.	7.05	3.53

Los puertos de aire primarios son redondos por lo que el diámetro se calcula obteniendo la raíz de cuatro veces el área entre el valor de pi, mientras que los de aire secundarios son cuadrados, por lo que calculando la raíz cuadrada del área se obtendrá el largo y ancho de cada uno de estos puertos. Las dimensiones obtenidas se presentan en la tabla 5.5.

Tabla 5.5 Dimensiones de los puertos de aire.

PUERTO	DIMENSIONES (pulg.)
Diámetro de Puertos primarios . (c /u).	3.20
Largo y ancho de Puertos secundarios (c /u).	1.90

5.8.3. Puerto de flama.

El área del puerto de flama es determinado por el volumen de gases que pasarán a través del mismo a la velocidad recomendada, por lo que en primer lugar debe determinarse el volumen de los gases, los cuales están comprendidos por los productos de combustión, el aire en exceso y el agua evaporada en el proceso, sin incluir el aire de combustión secundario, Los moles de productos formados en la combustión de los desechos se presentan en la tabla 5.6.

Tabla 5.6 Flujo de productos de combustión a través del puerto de flama.

Compuesto	Flujo másico (lb /h)	Flujo molar (lbmol / h)
CO ₂	86.17	1.96
H ₂ O	92.54	5.14
SO ₂	0.41	0.01
N ₂	379.78	13.56
O ₂	57.68	1.80
Total	616.59	22.47

El volumen de productos de combustión a través del puerto de flama (V_{pcpf}) a condiciones TPN lo obtenemos multiplicando $22.47 \text{ lbmol/h} \times 359 \text{ pies}^3/\text{lbmol}$, lo que resulta en $8,067.56 \text{ pies}^3/\text{h}$, equivalentes a 134.5 CFM @ TPN .

La temperatura en la cámara primaria es de 904.44°C , por lo que corrigiendo a esta temperatura y a la presión de la Cd. de México, se tiene que:

$$V_{pcpf} = 134.5 * \frac{904.44 + 273.15}{273.15} * \frac{1}{0.77} = 753.4 \text{ CFM.} \quad (8)$$

De la Tabla 5.1, se tiene que la velocidad recomendada en el puerto de flama, es de 15 pies/s . Con este dato es posible obtener el área del puerto de flama (A_{pf}):

$$A_{pf} = \frac{753.4}{15 * 60} = 0.84 \text{ pies}^2. \quad (9)$$

Las dimensiones del puerto serán obtenidas hasta que se dimensione la cámara de mezclado ya que el ancho del puerto de flama debe coincidir con el largo de la cámara de mezclado.

5.8.4. Cámara de Mezclado.

El área de sección transversal de la cámara de mezclado está determinada por el volumen de los gases productos de la combustión y el aire en exceso, incluyendo el aire de combustión secundario, ya que es precisamente en esta cámara, que el aire secundario se incorpora al proceso. En la tabla 5.7 se presenta la suma de los flujos de los gases:

Tabla 5.7 Flujo de productos de combustión a través de la cámara de mezclado.

Compuesto	Flujo másico (lb/h)	Flujo molar (lbmol/h)
CO ₂	86.17	1.96
H ₂ O	92.54	5.14
SO ₂	0.41	0.01
N ₂	542.54	19.38
O ₂	82.41	2.58
Total	804.07	29.06

El volumen de productos de combustión en la cámara de mezclado (V_{pcem}) a condiciones TPN lo obtenemos multiplicando $29.06 \text{ lbmol/h} \times 359 \text{ pies}^3/\text{lbmol}$, lo que resulta en $10,431.76 \text{ pies}^3/\text{h}$, equivalentes a 173.9 CFM @ TPN .

Se considera que la temperatura en la cámara de mezclado es la misma que en la cámara primaria, de 904.44° C, por lo que corrigiendo a esta temperatura y a la presión de la Cd. de México, se tiene que:

$$V_{pccm} = 173.9 * \frac{904.44 + 273.15}{273.15} * \frac{1}{0.77} = 974.2 \text{ CFM.}$$

De la Tabla 5.1, se tiene que la velocidad recomendada en la cámara de mezclado, es de 15 pies /s. Con este dato es posible obtener el área de sección transversal de la cámara de mezclado (A_{cm}):

$$A_{cm} = \frac{974.2}{15 * 60} = 1.08 \text{ pies}^2. \quad (9)$$

Las dimensiones de la cámara se mezclado serán obtenidas hasta que se obtenga el área de sección transversal de la cámara de combustión o asentamiento, ya que la proporción entre las áreas de las cámaras es la misma que la proporción entre los largos.

5.8.5. Cámara de Combustión o Asentamiento.

El área de sección transversal de la cámara de combustión o asentamiento está determinada por el volumen de los gases productos de la combustión y el aire en exceso, incluyendo el aire de combustión secundario, es decir, el mismo volumen de productos de combustión que pasa a través de la cámara de mezclado, o sea 173.9 CFM @ TPN. Se considera que la temperatura en la cámara de mezclado es de 400 °F (222.22 °C) menos que en la cámara de ignición, por lo que la temperatura en la cámara de asentamiento es de 682.2 °C. Corrigiendo a esta temperatura y a la presión de la Cd. de México, se tiene que:

$$V_{pcca} = 173.9 * \frac{682.2 + 273.15}{273.15} * \frac{1}{0.77} = 790.3 \text{ CFM.} \quad (10)$$

De la Tabla 5.1, se tiene que la velocidad recomendada en la cámara de asentamiento, es de 5 pies /s. Con este dato es posible obtener el área de sección transversal de la cámara de asentamiento (A_{ca}):

$$A_{ca} = \frac{790.3}{5 * 60} = 2.63 \text{ pies}^2. \quad (11)$$

La relación entre las áreas de las cámaras de mezclado y asentamiento es:

$$\frac{A_{ca}}{A_{cm}} = \frac{2.63}{1.08} = 2.4338 \quad (12)$$

Para dimensionar ambas cámaras, se considera que la relación entre el largo de la cámara de asentamiento (L_{ca}) y el largo de la cámara de mezclado (L_{cm}) es igual a la relación A_{cm} / A_{ca} . Por otro lado, se tiene que la suma de tales largos, debe ser igual al largo de la cámara de ignición, menos 9 pulgadas que medirá el muro de concreto refractario que separa ambas cámaras. Matemáticamente:

$$\frac{L_{ca}}{L_{cm}} = 2.4338 \quad (13)$$

Despejando:

$$L_{ca} = 2.4338 * L_{cm} \quad (14)$$

Y:

$$L_{cm} + L_{ca} = 84 - 9 = 75 \text{ pulgadas.} \quad (15)$$

Sustituyendo (14) en (15):

$$L_{cm} + 2.4338L_{cm} = 75 \text{ pulgadas.} \quad (16)$$

Por lo que:

$$3.4338L_{cm} = 75 \text{ pulgadas.} \quad (17)$$

Obteniéndose:

$$L_{cm} = \frac{75}{3.4338} = 21.89 \text{ pulgadas.} \quad (18)$$

Lo que conduce a:

$$L_{ca} = 75 - 21.89 = 53.11 \text{ pulgadas.} \quad (19)$$

El ancho de la cámara de asentamiento debe ser igual al ancho de la cámara de mezclado (W_{ca} y W_{cm} , respectivamente), por lo que si se desarrolla la fórmula de la suma de las áreas de las cámaras, se tiene lo siguiente:

$$A_{ca} + A_{cm} = L_{ca} * W_{ca} + L_{cm} * W_{cm} = 1.08 + 2.63 = 3.71 \text{ pies}^2. \quad (20)$$

Como:

$$W_{cm} = W_{ca} \quad (21)$$

Sustituyendo (21) en (20):

$$L_{ca} * W_{ca} + L_{cm} * W_{ca} = 3.71 \text{ pies}^2. \quad (22)$$

Sustituyendo valores:

$$53.11 * W_{ca} + 21.89 * W_{ca} = 535.22 \text{ pulg}^2. \quad (23)$$

Simplificando:

$$75 * W_{ca} = 535.22 \text{ pulg}^2. \quad (24)$$

Despejando:

$$W_{ca} = \frac{535.22}{75} \quad (25)$$

Por lo que:

$$W_{ca} = 7.16 \text{ pulg.} \quad (26)$$

De acuerdo con lo anterior, el ancho de las cámaras de asentamiento y de mezclado es de 7.16 pulg., equivalentes a 182 mm.

Conociendo el largo de la cámara de mezclado ya es posible dimensionar el puerto de flama, ya que se tiene que el área del puerto es de 0.84 pies² (120.5 pulg²) y el largo del mismo corresponde al largo de la cámara de mezclado (21.89 pulg), por lo que la altura del puerto será:

$$H_{pf} = \frac{120.5}{21.89} = 5.51 \text{ pulg [=} 140 \text{ mm.} \quad (27)$$

5.8.6. Cámara por debajo del hogar.

Para aprovechar el calor de los gases, productos de la combustión, se harán pasar por debajo del hogar, después de que han recorrido la cámara de mezclado.

El área de sección transversal de la cámara por debajo del hogar está determinada por el volumen de los gases productos de la combustión que pasan a través de la cámara de mezclado, o sea 173.9 CFM @ TPN. Se considera que la temperatura en la cámara por debajo del hogar es de 200 °F (111.11 °C) menos que en la cámara de ignición, por lo que la temperatura es de 793.33 °C. Corrigiendo a esta temperatura y a la presión de la Cd. de México, se tiene que:

$$V_{pcdh} = 173.9 * \frac{793.33 + 273.15}{273.15} * \frac{1}{0.77} = 882.3 \text{ CFM.} \quad (28)$$

De la Tabla 5.1, se tiene que la velocidad recomendada en la cámara por debajo del hogar, es de 8 pies /s. Con este dato es posible obtener el área de sección transversal de la cámara por debajo del hogar (A_{cdh}):

$$A_{cch} = \frac{882.3}{8 * 60} = 1.84 \text{ pies}^2. \quad (29)$$

El ancho de esta cámara corresponde al ancho de la cámara primaria que es de 3 pies (914 mm). Para calcular la altura de la cámara, debe considerarse que no se trata de una cámara completamente rectangular, sino que lleva una curvatura en la parte superior (techo de la cámara) en forma de arco para favorecer la circulación de los gases, por lo que en el procedimiento de cálculo deben utilizarse las siguientes fórmulas, con el fin de calcular el área subtendida por el arco. Con respecto al esquema de la figura 5.9 se tiene que:

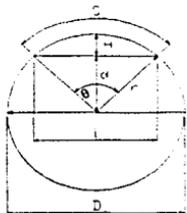


Figura 5.9 Esquema de un arco.

La cuerda (l) subtendida por el ángulo central (θ), será igual al ancho de la cámara por debajo del hogar, es decir 36 pulgadas. Si se establece que el ángulo θ mida por conveniencia tanto geométrica como estética, 32° (0.5585 radianes), la distancia representada por d se determina con la fórmula:

$$d = \frac{l}{2 \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad (30)$$

Sustituyendo:

$$d = \frac{36}{2 \tan\left(\frac{0.5585}{2}\right)} = 62.7 \text{ pulg.} \quad (31)$$

Ahora es posible calcular el radio del círculo, ya que:

$$r = \frac{l}{2 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad (32)$$

ESTE CON
 TALLA DE ORIGEN

Sustituyendo:

$$r = \frac{36}{2 \sin\left(\frac{0.5585}{2}\right)} = 65.3 \text{ pulg.} \quad (33)$$

La altura del arco (H) es la diferencia entre r y d, por lo que:

$$H = 65.3 - 62.7 = 2.5 \text{ pulg.} \quad (34)$$

Lo cual es aceptable ya que el hogar tiene un espesor de 9 pulgadas. La longitud del arco subtendido por θ , es igual a:

$$S = r\theta \quad (35)$$

Por lo que:

$$S = 65.3 \cdot 0.5585 = 36.5 \text{ pulg.} \quad (36)$$

El área delimitada por el arco (S) y la cuerda (l), se obtiene con la fórmula:

$$A_{\text{segmento}} = \frac{1}{2} r^2 (\theta - \sin\theta) \quad (37)$$

Sustituyendo:

$$A_{\text{segmento}} = \frac{1}{2} (65.3)^2 (0.5585 - \sin 0.5585) = 60.9 \text{ pulg}^2 \quad (38)$$

Esta área sólo es una parte del área total de la cámara. El área restante es rectangular, por lo que:

$$A_{\text{rectangular}} = A_{\text{cdh}} - A_{\text{segmento}} = 264.7 - 60.9 = 203.8 \text{ pulg}^2 \quad (39)$$

El ancho es de 36 pulgadas, por lo que altura del área rectangular de la cámara será:

$$H_{\text{rect}} = \frac{203.8}{36} = 5.7 \text{ pulg.} \quad (40)$$

La altura de la cámara, tomando en cuenta la altura del arco será de 2.5 + 5.7 pulg., lo que da un total de 8.2 pulgadas. Con respecto a las dimensiones propuestas en la figura 5.8, la altura de esta cámara es demasiado corta, ya que, debido a la capacidad del incinerador, la altura de la cámara debería ser de alrededor de 16 pulgadas. Si no es posible dimensionar los puertos de salida de los productos de combustión, debido a la altura tan corta de esta cámara, deberá plantearse la utilización de las desviaciones permisibles de velocidad a partir del paso de los gases a través de la cámara de mezclado, a fin de que

aumente el ancho de esta cámara con la consecuente disminución en la longitud, lo que provocará que crezca la altura requerida de la cámara por debajo del hogar.

5.8.7. Puertos de salida.

El incinerador crematorio tiene dos puertos de salida, a través de los cuales se conducen los gases de la cámara de mezclado hacia la cámara que está por debajo del hogar y de ésta, hacia la cámara de combustión o asentamiento.

Los puertos de salida no son totalmente rectangulares; la parte superior presenta una curvatura en forma de arco para favorecer el paso de los gases producto de la combustión. Para dimensionar tales puertos, debe tomarse en cuenta que la altura máxima del puerto será la correspondiente a la altura de la cámara por debajo del hogar, sin contar con la altura del arco de la cámara misma. Por lo que, en este caso, la altura máxima tendrá que ser de 5.7 pulgadas.

5.8.7.a) Puerto de salida de la cámara de mezclado hacia la cámara por debajo del hogar.

El área de sección transversal del puerto de salida de la cámara de mezclado está determinada por el volumen de los gases productos de la combustión que fluyen a través del mismo, o sea 173.9 CFM @ TPN. Se considera que la temperatura de los gases en este puerto es de 50° F (27.78° C) menos que en la cámara de mezclado, por lo que la temperatura en este puerto de salida es de 876.67° C. Corrigiendo a esta temperatura y a la presión de la Cd. de México, se tiene que:

$$V_{pscm} = 173.9 * \frac{876.67 + 273.15}{273.15} * \frac{1}{0.77} = 951.2 \text{ CFM.} \tag{41}$$

De la Tabla 5.1, se tiene que la velocidad recomendada en el puerto de salida de la cámara de mezclado, es de 15 pies /s. Con este dato es posible obtener el área de sección transversal del puerto (A_{pscm}):

$$A_{pscm} = \frac{951.2}{15 * 60} = 1.06 \text{ pies}^2. \tag{42}$$

En atención a la observación mencionada en punto 5.8.7, se verificará que la altura de la cámara por debajo del hogar sea la suficiente para poder fijar las dimensiones del puerto de salida, por lo que, si se tratara de un puerto rectangular y sin curvaturas, el ancho máximo sería el largo de la cámara de mezclado, y la altura se obtendría con el cálculo:

$$H_{pscm} = \frac{A_{pscm}}{W_{pscm}} = \frac{152.2}{21.9} = 6.95 \text{ pulgadas.} \tag{43}$$

Esta altura sobrepasa las 5.7 pulgadas que se tienen como máximas, por lo que puede procederse de dos formas: considerar la desviación permisible del +20% en la velocidad recomendada en el puerto de salida o, como se mencionó anteriormente, redimensionar el horno para que la altura de la cámara por debajo del hogar sea mayor.

Considerando la primera opción, la velocidad sería de 18 pies / s. El área de sección transversal del puerto:

$$A_{pscm} = \frac{951.2}{18 * 60} = 0.88 \text{ pies}^2. \quad (44)$$

Por analogía:

$$H_{pscm} = \frac{A_{pscm}}{L_{pscm}} = \frac{126.8}{21.9} = 5.8 \text{ pulgadas.} \quad (45)$$

Esta altura sigue sobrepasando las 5.7 pulgadas que se tienen como máximas y aunque podría considerarse que 0.1 pulgadas no afectarían, debe tomarse en cuenta que 5.7 pulgadas sería la altura total de un puerto rectangular que no toma en cuenta la curvatura que el puerto debe tener. Se proseguirá con el cálculo del puerto de salida de la cámara por debajo del hogar hacia la cámara de ignición, para verificar si se presenta el mismo caso.

5.8.7.b) Puerto de salida de la cámara por debajo del hogar hacia la cámara de combustión.

Como en los casos anteriores, el área de sección transversal del puerto de salida de la cámara por debajo del hogar está determinada por el volumen de los gases productos de la combustión que fluyen a través del mismo, o sea 882.3 CFM, según la ecuación (8).

De la Tabla 5.1, se tiene que la velocidad recomendada en el puerto de salida de la cámara por debajo del hogar, es de 10 pies /s. Con este dato es posible obtener el área de sección transversal del puerto (A_{pcth}):

$$A_{pcth} = \frac{882.3}{10 * 60} = 1.47 \text{ pies}^2. \quad (46)$$

A diferencia del caso del puerto de salida de la cámara de mezclado, el largo del puerto hacia la cámara de ignición no está delimitado tan claramente, por lo que para verificar que la altura de la cámara por debajo del hogar es la suficiente para poder dar dimensiones razonables al puerto de salida hacia la cámara de combustión, se calculará el ancho que debería tener el puerto, si se tratara de un puerto rectangular y sin curvaturas. De acuerdo con lo anterior el ancho sería:

$$W_{pcth} = \frac{A_{pcth}}{H_{pcth}} = \frac{211.7}{5.7} = 37.39 \text{ pulgadas.} \quad (47)$$

El largo de la cámara por debajo del hogar es de 84 pulgadas (largo de la cámara primaria), por lo que el ancho de un puerto rectangular sería de casi la mitad del largo total de la cámara. Dimensionando con el +20% de desviación permisible:

$$A_{pcth} = \frac{882.3}{12 * 60} = 1.23 \text{ pies}^2. \quad (48)$$

El ancho sería:

$$W_{pedh} = \frac{A_{pedh}}{H_{pedh}} = \frac{176.5}{5.7} = 31.16 \text{ pulgadas.} \quad (49)$$

El ancho de un puerto rectangular sería de más de una tercera parte del largo total de la cámara, lo cual no resulta conveniente. Debido a lo explicado anteriormente, de forma definitiva deben redimensionarse las cámaras utilizando algunas de las desviaciones permisibles, como a continuación se expone.

5.8.8. Redimensionamiento de la Cámara de Mezclado.

El volumen de productos de combustión en la cámara de mezclado que se obtuvo en el punto 5.8.4, es de 974.2 CFM. De la Tabla 5.1, se tiene que la velocidad recomendada en la cámara de mezclado, es de 15 pies /s, con una desviación permisible del $\pm 20\%$. Con el fin de que el área requerida sea mayor, se toma la desviación de -20% , por lo que la velocidad sería de 12 pies / s. Con este dato es posible obtener el área de sección transversal de la cámara de mezclado:

$$A_{cm} = \frac{974.2}{12 * 60} = 1.35 \text{ pies}^2. \quad (50)$$

5.8.9. Redimensionamiento de la Cámara de Combustión o Asentamiento.

El volumen de productos de combustión que pasa a través de la cámara de mezclado que se obtuvo en el punto 5.8.5, es de 790.3 CFM. De la Tabla 5.1, se tiene que la velocidad recomendada en la cámara de asentamiento, es de 5 pies /s $\pm 50\%$. Al igual que con la cámara de mezclado, para que el área requerida sea mayor, se toma la desviación de -50% , por lo que la velocidad sería de 2.5 pies / s. Con este dato se obtiene el área de sección transversal de la cámara de asentamiento:

$$A_{ca} = \frac{790.3}{2.5 * 60} = 5.27 \text{ pies}^2. \quad (51)$$

La relación entre las áreas de las cámaras de mezclado y asentamiento es:

$$\frac{A_{ca}}{A_{cm}} = \frac{5.27}{1.35} = 3.8941 \quad (52)$$

Por lo que:

$$\frac{L_{ca}}{L_{cm}} = 3.8941 \quad (53)$$

Despejando:

$$L_{ca} = 3.8941 * L_{cm} \quad (54)$$

Sigue siendo válida la ecuación (15):

$$L_{cm} + L_{ca} = 84 - 9 = 75 \text{ pulgadas.} \quad (15)$$

Por lo que:

$$4.8941 L_{cm} = 75 \text{ pulgadas.} \quad (55)$$

Obteniéndose:

$$L_{cm} = \frac{75}{4.8941} = 15.35 \text{ pulgadas.} \quad (56)$$

Lo que conduce a:

$$L_{ca} = 75 - 15.35 = 59.65 \text{ pulgadas.} \quad (57)$$

La sustitución de los valores de la ecuación (20) es:

$$A_{ca} + A_{cm} = L_{ca} * W_{ca} + L_{cm} * W_{cm} = 5.27 + 1.35 = 6.63 \text{ pies}^2. \quad (58)$$

Como ya se estableció:

$$W_{cm} = W_{ca} \quad (21)$$

Sustituyendo (21) en (58):

$$L_{ca} * W_{ca} + L_{cm} * W_{ca} = 6.63 \text{ pies}^2. \quad (59)$$

Sustituyendo valores:

$$59.65 * W_{ca} + 15.35 * W_{ca} = 953.55 \text{ pulg}^2. \quad (60)$$

Simplificando:

$$75 * W_{ca} = 953.55 \text{ pulg}^2. \quad (61)$$

Despejando:

$$W_{ca} = \frac{953.55}{75} = 12.72 \text{ pulg.} \quad (62)$$

De acuerdo con lo anterior, el ancho de las cámaras de asentamiento y de mezclado es de 12.72 pulg., equivalentes a 323 mm.

Obviamente el puerto de flama tiene que redimensionarse. El área del puerto se mantiene en 0.84 pies² (120.5 pulg²) y el largo del mismo corresponde al largo de la cámara de mezclado (15.35 pulg.), por lo que la altura del puerto será:

$$H_{pf} = \frac{120.5}{15.35} = 7.87 \text{ pulg. [=] 200 mm.} \quad (63)$$

5.8.10. Redimensionamiento de la Cámara por debajo del hogar.

El volumen de los gases productos de la combustión que salen de la cámara de mezclado, corregido a la temperatura en la cámara por debajo del hogar, como se calculo en el punto 5.8.6 es de 882.3 CFM. De la Tabla 5.1, se tiene que la velocidad recomendada en la cámara por debajo del hogar, es de 8 pies /s $\pm 50\%$ de desviación permisible. A fin de que el área de sección transversal requerida crezca, se tomará el -50% de desviación, por lo que la velocidad es de 4 pies / s, con lo que el área de la cámara por debajo del hogar es:

$$A_{cdh} = \frac{882.3}{4 * 60} = 3.68 \text{ pies}^2. \tag{64}$$

El ancho de esta cámara corresponde al ancho de la cámara primaria que es de 3 pies (914 mm). Siguiendo el procedimiento establecido anteriormente, con respecto al esquema de la figura 5.9, la cuerda (l) subtendida por el ángulo central (θ) permanece invariable, por lo que si se mantiene el valor del ángulo θ , en 32° , la distancia representada por d, el radio del círculo, la altura del arco (H) y la longitud del arco subtendido por θ (S), son los ya obtenidos en el punto 5.8.6. El área delimitada por el arco (S) y la cuerda (l), es de 60.9 pulg^2 . El área rectangular restante de la cámara es:

$$A_{residual} = A_{cdh} - A_{segmento} = 529.4 - 60.9 = 468.5 \text{ pulg}^2 \tag{65}$$

El ancho sigue siendo de 36 pulgadas, por lo que altura del área rectangular de la cámara será:

$$H_{redh} = \frac{468.5}{36} = 13 \text{ pulg}. \tag{66}$$

La altura de la cámara, tomando en cuenta la altura del arco será de $2.5 + 13 \text{ pulg.}$, lo que da un total de 15.5 pulgadas. Con respecto a los dimensiones propuestas en la figura 5.8, la altura de esta cámara se considera apropiada de acuerdo a la capacidad del incinerador, ya que la altura de la cámara debe ser de alrededor de 16 pulgadas, por lo que con estas nuevas dimensiones propuestas, puede procederse al cálculo de los demás parámetros y verificar que esta nueva altura sea la adecuada respecto a las necesidades del proceso.

5.8.11. Redimensionamiento de puertos de salida.

Para dimensionar los puertos de salida ahora debe tomarse en cuenta que la altura máxima del puerto será de 13 pulgadas.

5.8.11.a) Redimensionamiento del puerto de salida de la cámara de mezclado.

El área de sección transversal del puerto al fondo de la cámara de mezclado que fue obtenida en el punto 5.8.7.a), puede permanecer sin cambio tomando la velocidad recomendada de 15 pies /s, por lo que el área del puerto es de 1.06 pies^2 .

En atención a la observación mencionada en punto 5.8.7, se verificara nuevamente que la altura de la cámara por debajo del hogar sea la suficiente para poder fijar las dimensiones del puerto de salida, por lo que, si se tratara de un puerto rectangular y sin curvaturas, el ancho máximo sería el de la cámara de mezclado, y la altura se obtendría con el cálculo:

$$H_{pucm} = \frac{A_{pucm}}{W_{pucm}} = \frac{152.2}{15.35} = 9.91 \text{ pulgadas.}$$

Esta altura no sobrepasa las 13 pulgadas que se tienen como máximas, por lo que puede procederse a calcular las dimensiones del puerto considerando la curvatura en forma de arco que debe de tener para favorecer el paso de los gases.

El ancho máximo del puerto será el largo de la cámara de mezclado menos 1 pulg., para considerar un espacio de $\frac{1}{2}$ pulg. de separación a cada lado del puerto, por lo que:

$$W_{pucm} = 15.35 - 1 = 14.35 \text{ pulg.} \quad (67)$$

Con respecto a la figura 5.9, la cuerda (l) mide 14.35 pulg. Puede establecerse que el ángulo central por conveniencia tanto geométrica como estética, mida 36° (0.6283 radianes), la distancia representada por d se calcula con la fórmula (30):

$$d = \frac{l}{2 \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)} = \frac{14.35}{2 \tan\left(\frac{0.6283}{2}\right)} = 22.1 \text{ pulg.} \quad (68)$$

El radio del círculo es:

$$r = \frac{l}{2 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)} = \frac{14.35}{2 \sin\left(\frac{0.6283}{2}\right)} = 23.3 \text{ pulg.} \quad (69)$$

La altura del arco (H) es:

$$H = r - d = 23.3 - 22.1 = 1.2 \text{ pulg.} \quad (70)$$

La longitud del arco subtendido por θ , es igual a:

$$S = r\theta = 23.3 * 0.6283 = 14.6 \text{ pulg.} \quad (71)$$

El área delimitada por el arco (S) y la cuerda (l), es de:

$$A_{\text{segmento}} = \frac{1}{2} r^2 (\theta - \sin \theta) = \frac{1}{2} (23.3)^2 (0.6283 - \sin 0.6283) = 11 \text{ pulg}^2. \quad (72)$$

El área rectangular restante es:

$$A_{\text{rectangular}} = A_{pudh} - A_{\text{segmento}} = 152.2 - 11 = 141.2 \text{ pulg}^2 \quad (73)$$

El ancho es de 14.35 pulgadas, por lo que altura del área rectangular del puerto será:

$$H_{\text{rect}} = \frac{141.2}{14.35} = 9.8 \text{ pulg.} \quad (74)$$

La altura del puerto, tomando en cuenta la altura del arco será de $9.8 + 1.2$ pulg., lo que da un total de 11 pulgadas, lo que resulta apropiado ya que no se rebasan las 13 pulg. que se tienen como máximas y con tales dimensiones, queda un margen de 2 pulgadas entre el centro del arco y el hogar.

5.8.11.b) Redimensionamiento del puerto de salida hacia la cámara de combustión.

El área de sección transversal del puerto de salida de la cámara por debajo del hogar hacia la cámara de combustión o asentamiento que fue obtenida en el punto 5.8.7.b), puede permanecer sin cambio tomando la velocidad recomendada de 10 pies /s, por lo que el área del puerto es de 1.47 pies².

Como se explicó anteriormente, para verificar que la altura de la cámara por debajo del hogar es la suficiente para poder dar dimensiones razonables al puerto de salida hacia la cámara de combustión, se calculará el ancho que debería tener el puerto, si se tratara de un puerto rectangular y sin curvaturas. De acuerdo con lo anterior el ancho sería:

$$W_{\text{rect}} = \frac{A_{\text{rect}}}{H_{\text{rect}}} = \frac{211.7}{13} = 16.28 \text{ pulgadas.} \quad (75)$$

Este ancho representa casi una quinta parte del largo total de la cámara por debajo del hogar por lo que puede procederse a calcular las dimensiones del puerto considerando la curvatura en forma de arco que debe de tener para favorecer el paso de los gases.

Con respecto a la figura 5.9, se tiene que el ángulo central, al igual que en el otro puerto de salida, mide 36° (0.6283 radianes). Para que queden 2 pulgadas de espacio entre el centro del arco y el hogar, por prueba y error se encuentra que el ancho del puerto debe ser un poco mayor a una tercera parte del largo total de la cámara por debajo del hogar (34.48%), por lo que la cuerda subtendida por el ángulo central mide 20.3 pulg., con lo que se obtienen las demás dimensiones:

$$d = \frac{l}{2 \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)} = \frac{20.3}{2 \tan\left(\frac{0.6283}{2}\right)} = 31.2 \text{ pulg.} \quad (76)$$

El radio del círculo:

$$r = \frac{l}{2 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)} = \frac{20.3}{2 \sin\left(\frac{0.6283}{2}\right)} = 32.8 \text{ pulg.} \quad (77)$$

La altura del arco (H):

$$H = r - d = 32.8 - 31.2 = 1.6 \text{ pulg.} \quad (78)$$

La longitud del arco subtendido por θ , es igual a:

$$S = r\theta = 32.8 * 0.6283 = 20.6 \text{ pulg.} \quad (79)$$

El área delimitada por el arco (S) y la cuerda (l) resulta de:

$$A_{\text{segmento}} = \frac{1}{2} r^2 (\theta - \sin\theta) = \frac{1}{2} (32.8)^2 (0.6283 - \sin 0.6283) = 21.8 \text{ pulg}^2. \quad (80)$$

El área rectangular restante es:

$$A_{\text{rectangular}} = A_{\text{cuerda}} - A_{\text{segmento}} = 211.7 - 21.8 = 189.9 \text{ pulg}^2 \quad (81)$$

El ancho es de 20.3 pulgadas, por lo que altura del área rectangular de la cámara será:

$$H_{\text{rech}} = \frac{189.9}{20.3} = 9.4 \text{ pulg.} \quad (82)$$

La altura del puerto, tomando en cuenta la altura del arco será de $9.4 + 1.6$ pulg., lo que da un total de 11 pulgadas, lo que resulta apropiado ya que no se rebasan las 13 pulg. que se tienen como máximas.

5.8.12 Ducto de salida del incinerador (Chimenea).

El área de sección transversal de la chimenea del incinerador está determinada por el volumen de los gases productos de la combustión que fluyen a través de la misma. Se considera que la temperatura de los gases en la chimenea es de 600 °F (333.33 °C) menos que en la cámara de ignición, por lo que la temperatura en el ducto de salida es de 571.11 °C. Corrigiendo a esta temperatura y a la presión de la Cd. de México, se tiene que:

$$V_{\text{peda}} = 173.9 * \frac{571.11 + 273.15}{273.15} * \frac{1}{0.77} = 698.4 \text{ CFM.} \quad (83)$$

De la Tabla 5.1, se tiene que la velocidad recomendada para diseñar la chimenea es de 15 pies /s. Con este dato es posible obtener el área de sección transversal del ducto de salida (A_{ds}):

$$A_{ds} = \frac{698.4}{15 * 60} = 0.78 \text{ pies}^2. \quad (84)$$

El diámetro se calcula:

$$D_{ds} = \sqrt{\frac{4A_{ds}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0.78}{\pi}} = 0.99 \text{ pies.} \quad (85)$$

La altura de la chimenea (H_{ds}) se obtiene con la fórmula:

$$H_{ds} = \frac{D_t}{0.52 * P} * \left(\frac{1}{\frac{T}{T_1} - 1} \right) \quad (86)$$

Donde:

- D_t = Tiro, pulgadas columna de agua.
- T = Temperatura ambiente, °R.
- T_1 = Temperatura promedio de los gases en la chimenea, °R.
- P = Presión atmosférica, lb /pulg².

En la Tabla 5.1, se recomienda un tiro de 0.20 pulgadas columna de agua en la cámara de combustión al cual debe agregársele un 20% por contar con el paso de los gases calientes por debajo del hogar. La temperatura ambiente es de 20 °C (68 °F, 528 °R). La temperatura promedio de los gases en la chimenea es de 571.11 °C (1060 °F, 1520 °R) y la presión atmosférica es de 11.32 lb /pulg². Sustituyendo estos datos en (86):

$$H_{ds} = \frac{0.20 * 1.2}{0.52 * 11.32} * \left(\frac{1}{\frac{1}{528} - \frac{1}{1520}} \right) = 33.00 \text{ pies.} \quad (87)$$

Por lo que la altura de la chimenea será de 33 pies, equivalentes a 10.06 metros de altura.

Hasta este punto se han obtenido las principales dimensiones del incinerador crematorio, las cuales se encuentran resumidas en la Tabla 5.8. y pueden observarse en el plano 10-OCM-001-1-5 correspondiente al de material refractario del incinerador crematorio. A continuación se determinarán las posiciones de los quemadores y la chimenea, los espesores de material refractario y aislante así como la instrumentación del equipo, como es el sistema de combustión, de protección y de control.

Tabla 5.8 Dimensiones principales del incinerador crematorio de restos humanos diseñado.

Zona	Dimensión	Medida	Unidad
Cámara primaria o de ignición	Largo	7.0	Pies
	Ancho	3.0	Pies
	Altura	2.92	Pies
Cámara de mezclado	Largo	1.28	Pies
	Ancho	1.06	Pies
	Altura	4.75	Pies
Cámara por debajo del hogar	Largo	7.0	Pies
	Ancho	3.0	Pies
	Altura rectangular	13.0	Pulgadas
	Altura del arco	2.5	Pulgadas
Cámara de combustión o asentamiento	Altura total	15.5	Pulgadas
	Largo	4.97	Pies
	Ancho	1.06	Pies
	Altura	4.75	Pies
Puertos de entrada de aire primario (c/u)	Diámetro	3.2	Pulgadas.
Puertos de entrada de aire secundario (c/u)	Largo	1.9	Pulgadas
	Ancho	1.9	Pulgadas
Puerto de flama	Largo	15.35	Pulgadas
	Ancho	7.87	Pulgadas
Puerto al fondo de la cámara de mezclado	Largo	14.37	Pulgadas
	Altura rectangular	9.8	Pulgadas
	Altura del arco	1.2	Pulgadas
	Altura total	11.0	Pulgadas
Puerto al fondo de la cámara de combustión	Largo	20.3	Pulgadas
	Altura rectangular	9.4	Pulgadas
	Altura del arco	1.6	Pulgadas
	Altura total	11.0	Pulgadas
Ducto de salida de gases de combustión o Chimenea	Diámetro interior	11.9	Pulgadas
	Diámetro exterior	20.9	Pulgadas
	Altura	33.0	Pies

5.8.13 Material Refractario y Aislamiento.

Para estar del lado seguro, el espesor de material refractario tanto del hogar sólido como de las paredes divisoras de las cámaras será de 9 pulgadas, de acuerdo a lo especificado en la tabla de la figura 5.8.

Los estándares de incineración del Incinerator Institute of America (IAI)[1] recomiendan, para el caso de incineradores Clase VI, que las paredes, techo y piso sean construidas de material refractario con un espesor no menor a 4 ½ pulgadas para capacidades de hasta 150 lb/h. El aislamiento que sigue como revestimiento del material refractario, debe tener un espesor por lo menos de 2 pulgadas y la carcaza exterior debe ser de lámina con un espesor no menor al del calibre 12 comercial.

Se ha elegido utilizar como refractario el material conocido como U-CAST- 60M de APGreen de México, debido a que se trata de uno de los concretos refractarios de más alta calidad que existen en el mercado para la aplicación requerida. Tiene una temperatura de servicio de 90 a 1650 °C y una densidad de 2230 kg/m³. El material aislante que se plantea utilizar es el concreto aislante Almex-55 de Harbison Walker Refractories, el cual tiene una temperatura máxima recomendada de 1260 °C y una densidad de 888 kg/m³. Los datos de conductividad térmica de ambos materiales se presentan en la tabla 5.9. La carcaza será de lámina de rolado en frío, cal. 10, de 1/8 de pulgada de espesor.

En total se tendrán 12 pulgadas de recubrimiento (refractario y aislante), que son las manejadas típicamente para este tipo de construcciones debido a que un espesor mayor no sólo no resulta estético sino que sería indicación de que se necesita especificar otros materiales con conductividades térmicas menores. Empleando el método de solución de paredes compuestas rectangulares¹⁰ se encontró que con 4 ½ pulgadas de espesor de concreto refractario y 7 ½ pulgadas de material aislante, se tiene una temperatura de cara fría máxima de 94.22 °C (del lado de la cámara de ignición), la cual resulta alta, ya que comúnmente, por razones de seguridad son aceptadas temperaturas menores a 90 °C. Si se cambian los espesores a 3 pulgadas de concreto refractario y 9 pulgadas de material aislante, se tiene una temperatura de cara fría máxima de 88.06 °C, la cual sigue pareciendo alta pero resulta aceptable considerando que los operarios del equipo no tienen por qué encontrarse directamente expuestos a esta temperatura. La temperatura calculada de interfase entre el refractario y el aislante es de 844.7 °C. Debido a la alta calidad de estos materiales, el diseño del incinerador crematorio se plantea con 3 pulgadas de refractario (1.5 pulgadas menos de las recomendadas por el IAI) y 9 pulgadas de aislante.

El arreglo del equipo en cuanto a material refractario y aislamiento se muestra en el plano 8-OCM-001-1-5 que se encuentra al final de este capítulo.

¹⁰ El método de solución de paredes compuestas rectangulares se expone detalladamente en la sección B del Apéndice que se encuentra al final del presente trabajo.

Tabla 5.9 Conductividades Térmicas del U-CAST-60M y el ALMEX-55 a diferentes temperaturas.

Material	Temperatura (°F).	Conductividad (BTU pulg/pie ² h °F)
U-CAST-60M*	425	7.6967
	650	7.6274
	870	7.4887
	1090	7.4194
ALMEX-55**	401	1.5670
	801	1.7984
	1202	1.8791

* Datos técnicos proporcionados por AP Green.

** Datos técnicos proporcionados por Harbison Walker Refractories.

5.8.14 Especificación y Posición de Quemadores y Puertos de Aire.

Como se menciona en el punto 5.1, al inicio del presente capítulo, la localización del quemador en la cámara de ignición es uno de los aspectos críticos en el diseño de un incinerador crematorio. Esto se debe a que la flama del quemador debe incidir en el centro del cuerpo tanto a lo largo como a lo ancho. El ángulo recomendado de inclinación de la flama del quemador es de 30° con respecto a la horizontal, por lo debe conocerse la longitud de la flama que proporciona el quemador para asegurar que la posición del mismo sea la adecuada para cumplir con tal objetivo.

Los quemadores que se plantea utilizar para el incinerador crematorio son los SVG Super Velocity Gas Burner de la marca HAUCK. La alta velocidad de salida de la flama de estos quemadores provoca una mejora en la uniformidad de la temperatura y en la eficiencia¹⁷. Cuenta con un amplio rango operacional con respecto a excesos de aire y combustible, para temperaturas de hasta 2600 °F (1427 °C) con aire de combustión frío. La presión del aire a la que se operan comúnmente este tipo de quemadores a su entrada es de 16 OSI (onzas /pulg²) por lo que se especificarán los quemadores para tal presión.

El quemador que se propone utilizar como quemador primario es el SVG-125 que tiene una capacidad de 1,105,000 BTU /h, cuando trabaja con flujo de aire estequiométrico @ 16 OSI. La longitud de la flama que proporciona este quemador en las circunstancias de operación dadas es de 36 pulgadas.

La capacidad del quemador secundario se obtiene calculando el calor necesario para incrementar la temperatura del aire que entra a través de los puertos secundarios, desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de la cámara de mezclado, siguiendo el siguiente

¹⁷ Datos proporcionados por TERMOQUEM, SA de CV, representante de HAUCK Manufacturing Company, en México, D. F.

procedimiento que se expone resumidamente, ya que en el capítulo 4, se encuentran a detalle las composiciones, factores de conversión y fórmulas con las que se obtienen los siguientes resultados:

Flujo volumétrico de aire que entra por los puertos secundarios	61.47 CFM.
Flujo de aire corregido a condiciones TPN	44.09 CFM.
Equivalentes a un flujo volumétrico por hora de	2645.4 CFH.
Que corresponden a un flujo molar de	7.3689 lbmol /h
Y a un flujo másico de	212.23 lbmol /h
Considerando la composición másica del aire,	
Flujo másico de oxígeno	49.45 lb /h
Flujo másico de nitrógeno	162.78 lb/h
Calor requerido por el aire, calculado de acuerdo a lo expuesto en el punto 4.8.4:	
Calor requerido por el oxígeno	20,340 BTU /h
Calor requerido por el nitrógeno	66,952 BTU /h
Dando un total de	87,292 BTU /h
Con base en el poder calorífico del gas LP, se consumirán	38.6 pie ³ /h
De acuerdo con la composición del gas LP se requieren	12.24 lb /h O ₂ .
El cual está contenido en	52.53 lb /h Aire
Considerando alimentar un exceso de aire del 20% se consumen	63.04 ln./h Aire.
Considerando la composición másica del aire,	
Flujo másico de oxígeno	14.69 lb /h
Flujo másico de nitrógeno	48.35 lb/h
Calor requerido por el aire:	
Calor requerido por el oxígeno	6,041 BTU /h
Calor requerido por el nitrógeno	19,887 BTU /h
Dando un total de	25,928 BTU /h
La suma de los calores requeridos es de	113,220 BTU /h
Lo que corresponde a un calor nominal de	129,048 BTU /h

El quemador que se propone utilizar como quemador secundario es el SVG-110 que tiene una capacidad de 139,000 BTU /h, cuando trabaja con flujo de aire estequiométrico @ 16 OSI. La longitud de la flama que proporciona este quemador en las circunstancias de operación dadas es de 7 pulgadas.

Con el dato de la longitud de la flama ya es posible ubicar el quemador primario considerando que con respecto al largo de la cámara de ignición, el centro del bloque del quemador deberá estar colocado en el centro. La longitud de la cámara de ignición es de 7 pies, por lo que el centro del bloque deberá colocarse a 3.5 pies con respecto a esta dimensión. La figura 5.10 presenta la inclinación que debe tener el quemador para que la flama incida directamente sobre los residuos (en este caso el cuerpo a cremar) y que determina la posición del quemador con respecto a la altura de la cámara de ignición.

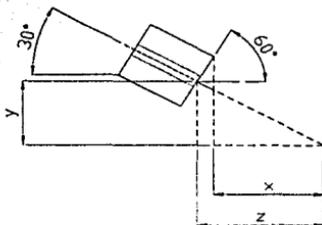


Figura 5.10 Vista lateral de la posición del quemador primario.

Con respecto al esquema de la figura 5.10, la distancia x se obtiene dividiendo el ancho de la cámara de ignición por dos, ya que es justo en el centro donde se busca que incida la flama del quemador. El ancho de la cámara de ignición es de 3 pies así que la distancia x es de 1.5 pies (18 pulg.). La distancia y representa la distancia comprendida entre la superficie del hogar y el punto en el que debe ser colocado el quemador para que la flama incida directamente en el centro de la cámara, teniendo un ángulo de inclinación de 30° con respecto a la horizontal. Esta distancia debe de fijarse de manera lógica, la altura de la cámara es de 35 pulgadas, así que se considerará que la distancia y sea de 14 pulgadas. Debe verificarse que la longitud de la flama no quede corta. De acuerdo con los datos del fabricante, el bloque del quemador mide $10 \frac{1}{4}$ pulgadas, así que calculando la distancia $z - x$:

$$\cos 60^\circ = \frac{z - x}{\frac{10.75}{2}} \quad (88)$$

$$z - x = \cos 60^\circ * \frac{10.75}{2} = 2.6875 \text{ pulgadas} \quad (89)$$

Entonces la distancia z mide:

$$z = x + 2.6875 = 18 + 2.6875 = 20.6875 \text{ pulgadas} \quad (90)$$

La longitud de la flama medida desde el quemador hasta el centro de la cámara de ignición (L_f) sería:

$$L_f = \sqrt{14^2 + 20.6875^2} = 24.98 \text{ pulgadas} \quad (91)$$

La longitud total de la flama del quemador es de 36 pulgadas por lo que se acepta que la distancia y sea de 14 pulgadas. Si la longitud L_f , hubiera excedido 30 pulgadas, hubiera sido necesario disminuir la distancia y y/o el ángulo de inclinación del quemador.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

En este caso, los puertos de aire secundario deben ir por debajo del quemador. Se considerará que el centro de los puertos quede colocado a una distancia de 4 pulg. con respecto al hogar. Son dos puertos que deben ser colocados equidistantes con respecto al largo de la cámara que mide 7 pies, por lo que el centro de cada puerto debe ubicarse a 2.33 pies (28 pulgadas).

La ubicación del segundo quemador no es tan crítica como lo es con el primario, sólo debe tenerse en cuenta que la flama quede por debajo de los puertos de aire secundario. Así, primero debe procederse a determinar la posición de estos puertos en el muro refractario que separa las cámaras de ignición y de mezclado, que tampoco se trata de un punto crítico en el diseño. De esta forma, la entrada de aire secundario (Ver plano 10-OCM-01-1-5), se colocará a 2 pulg. de distancia con respecto a la altura del muro. El área que debe tener la abertura de entrada es de 7.05 pulg². (Tabla 5.4), por lo que fijando una altura para la abertura de 3.5 pulg., el ancho será de 2.01 pulg. el quemador deberá colocarse de forma que haya cuando menos 5.5 pulgadas entre la flama y la altura total del muro separador de entre las cámaras de ignición y de mezclado. Para asegurarnos que no se presente el enfriamiento de la flama, el centro del quemador secundario se colocará a 11 1/2" con respecto a la altura del muro separador.

El incinerador crematorio deberá construirse sobre un chasis fabricado con canal estructural ligera de 6" (12.2 kg. /m.), y viga IPR de 6" x 4" de 13.4 kg. /m. con una placa de 1/4", en donde se desplantan los materiales refractarios, y sargentos del incinerador. Este chasis, da la posibilidad de poderlo transportar.

La estructura perimetral se forma a base de sargentos estructurales hechos de canal de 6" en los extremos del incinerador, y viga IPR de 6" x 4" unidos mediante traveses de canal de 6", y viga IPR de 6" x 4". Los sargentos se refuerzan con ángulo estructural de 2 1/2" x 1/4". El incinerador se forra con placa C. R. calibre 10.

5.8.15 Puerta del Incinerador Crematorio.

La puerta de entrada al incinerador crematorio, viéndola desde el interior del incinerador, estará formada con una capa 3 pulg. de concreto refractario U-CAST-60M, seguida por una capa de 9 pulg. de concreto aislante ALMEX 55.

La sección de alimentación, misma que forma un altar para sellar con la puerta de alimentación, está construida con concreto refractario de alta dureza CASTOLAST GM, el cual tiene una temperatura máxima de operación de 1870 °C.

La estructura de la puerta se construye con ángulo estructural de 3" x 1/4" y placa C.R. calibre 10.

Se trata de una puerta del tipo de guillotina, por lo que se propone que el mecanismo de levantamiento de la misma, sea hecho con base en un sistema de poleas y contrapesos,

con cable de acero, que sea accionado en forma automática por medio de un pistón neumático de 5" de diámetro y 35" de carrera, a través de una válvula solenoide de pedal.

5.8.16 Ducto de salida de gases del incinerador crematorio.

El ducto de salida de gases del incinerador o chimenea tiene un diámetro interior de 11.9 pulg. y un diámetro exterior de 20.9 pulg. ya que debe colocarse un recubrimiento interior de 4.5" de concreto aislante ALMEX 55. La carcasa exterior se forma con lámina rolada en frío calibre 10.

La chimenea es del tipo atirantada, con refuerzos de solera de 2" X 1/4". Los tramos de los cilindros se unen entre si mediante bridas y tornillos de alta resistencia en acero. La chimenea cuenta con 1 puerto de muestreo de gases hecho a base de medios coples de acero rosca NPT de 3" de diámetro. Se trata de una chimenea del tipo atirantada y debe estar provista de una escalera marina con guarda de protección hecha en tubo.

Con estos datos fue posible dibujar los planos 10-OCM-001-1-5 y 2-5 referentes al material refractario y estructura del incinerador crematorio, en los cuales se muestran las dimensiones principales del crematorio, que sirven como base para dibujar los planos que serían de construcción.

5.9 Sistema de Combustión: Elementos que lo conforman y Selección.

El sistema de combustión se compone de dos quemadores de alta velocidad. Uno es instalado en la cámara primaria y el otro en la cámara de mezclado para garantizar la completa incineración de cualquier material orgánico. La capacidad total del sistema será de 1,189,000 BTU /h.

El sistema consiste en los siguientes elementos, listados tal y como aparecen en el Diagrama Mecánico de Combustión 8-OCM-001-4-5:

- (1) Quemador de alta velocidad con capacidad nominal de 1,050,000 BTU /h cuando trabaja con aire @ 16 osig, marca HAUCK modelo SVG-125.
- (2) Quemador de alta velocidad con capacidad nominal de 139,000 BTU /h cuando trabaja con aire @ 16 osig, marca HAUCK modelo SVG-110.
- (3) Turboventilador marca HAUCK modelo TBA-32-7 1/2 para aire de combustión e incineración, con capacidad de 460 SCFM, levantando una presión estática de 32 osig cuando trabaja con aire a TPN. Incluye motor de 7 1/2 HP, 3F, 480 V.
- (4) Regulador de presión de gas marca Fisher modelo S402, puerto de 1/4" de diámetro (brown), cuerpo de 1". Presión de entrada 20 PSIG; presión de salida ajustable de 0.5 a 1.5 psig.
- (5) Manómetro 0-25 osig; 2 1/2" diámetro de carátula, conexión inferior 1/4", marca METRON.
- (10) 3 Válvulas de orificio limitante de 1/2" de diámetro, marca HAUCK modelo LVG-505.

- (11) Válvula de orificio limitante de 1 ½" de diámetro, marca HAUCK modelo LVG-515.
- (12) Placa de orificio de 1½" de diámetro (placa No. 1960) marca HAUCK modelo OMG-115.
- (13) Placa de orificio de ½" de diámetro (placa No. 262) marca HAUCK modelo OMG-103.
- (14) Manómetro 0-35 osig; 2 1/2" diámetro de carátula, conexión inferior 1/4", marca METRON.
- (16) Válvula de mariposa manual de 2½" de diámetro marca HAUCK modelo BVA-125.
- (17) Válvula de mariposa manual de 1½" de diámetro marca HAUCK modelo BVA-110.
 - 2 Transformador de ignición 120 V primario, 6000 V secundario.
 - Bujías de ignición para quemador SVG-125 marca HAUCK.
 - Bujías de ignición para quemador SVG-110 marca HAUCK.
- (23) Válvula de bola de 1 ½" de diámetro para 125 psig.
- (24) Válvula de bola de ½" de diámetro para 125 psig.
- (25) Manómetro 0-7 kg/cm²; 2 1/2" diámetro de carátula, conexión inferior 1/4". marca METRON.

Ya se expuso la forma en la que fueron seleccionados los quemadores, con base en la capacidad requerida y la presión a la que se maneja el aire. A fin de garantizar el flujo de aire de incineración se plantea la instalación de un turbo ventilador, cuyo flujo se puede ajustar para controlar la temperatura de las cámaras de ignición y secundaria, y garantizar el correcto exceso de aire para la operación adecuada del incinerador. Este equipo se determina de igual manera, con base en la capacidad y la presión estática demandada. Para la operación del incinerador crematorio se requieren 21,520 SCFH a una presión en el quemador de 16 OSI, a la que se deben sumar 3" C. A. (1.73 OSI) por caídas de presión en tubería y accesorios, más 1" C. A. (0.58 OSI) de caída de presión en la válvula de mariposa, por lo que teóricamente se requerirán alrededor de 19 OSI, que corregidos a la altura de la Cd. de México (19 OSI/0.77), son 24.67 OSI. De acuerdo a los datos del fabricante, el ventilador adecuado para operar a tales condiciones es el TBA-32-7 ½, que desarrolla una presión estática de 32 OSI, llevando un motor de 7 ½" manejando un flujo de 27,600 SCFH.

El regulador de presión de igual forma se elige de acuerdo a la capacidad de flujo y la presión de entrada así como la presión de salida, la cual debe obtenerse sumando las mayores caídas de presión que se presentan en el recorrido del gas más la presión a la que debe suministrarse el gas al quemador. En el caso del SVG-125, la presión del gas debe ser de 10.5" C. A. (6.06 OSI), y se encontró que hay una caída de presión por accesorios y válvulas alrededor de 3.3 OSI, por lo que la presión de salida del regulador deberá ser de 9.36 OSI, equivalentes a 16.2" C. A. El regulador de presión de gas marca Fisher modelo S402, puerto de 1/4" de diámetro (brown) está diseñado para operar con una presión de entrada de 20 PSIG y una presión de salida ajustable de 0.5 a 1.5 psig. (7.5 a 24 OSI), por lo que cumple con las condiciones de operación requeridas.

El resto de los accesorios, como son placas de orificio, válvulas y manómetros, fueron especificados de acuerdo a la capacidad requerida y la presión del sistema, utilizando los catálogos correspondientes. La forma de operación del sistema de combustión en conjunto con los sistemas de protección y control se exponen en el punto 5.12.

A la salida del ventilador centrífugo, el aire se conduce por una tubería hecha con lámina C. R. cal. 12, de 5" de diámetro, la cual constará de tres ramales, dos son de 3", uno para el aire de incineración y el otro para el aire de combustión del quemador primario mientras que el otro ramal es de 1 1/4" para el aire de combustión del quemador secundario. El ramal del aire de incineración a su vez se divide en dos ramales, uno de 2" para el aire de incineración de la cámara de ignición y otro de 1 1/2" para el aire de la cámara de mezclado.

La tubería de gas LP con la que se conectarán los quemadores, es tubería negra ced. 40 con conexiones roscadas en los diámetros indicados en el plano 6-OCM-001-4-5.

El equipo de combustión se soporta mediante bridas hechas de placa de 1/4" reforzadas con ángulo de 2 1/2" x 1/4" en la cámara de mezclado, y una base inclinada de lámina C. R. cal. 10 en la cámara de ignición, ambas soldadas a la estructura del incinerador.

5.10 Sistema de Protección contra falla de flama.

Debido a que la temperatura de operación no es lo suficientemente alta para garantizar la auto ignición del combustible durante todo el proceso, se instalará en el incinerador un sistema de supervisión de falla de flama, electrónico de encendido automático que llena todos los requisitos y normas de seguridad exigidas por la agencia F.M. de E. U. A.

El sistema consiste en los siguientes elementos, que se encuentran listados en las listas de equipo del Diagrama Mecánico de Combustión 8-OCM-001-4-5 y del Diagrama Eléctrico Bifilar 8-OCM-001-5-5:

- | | | |
|-----|---|--|
| | 2 | Relevadores de falla de flama marca Honeywell modelo RA890G1336, para 120V., 60 Hz. (Instalados en tablero). |
| | 2 | Fotoceldas ultravioleta detectoras de flama marca HONEYWELL. modelo C7027A1049. |
| (9) | 2 | Válvula solenoide para encendido (by -pass de piloto) de 1/2" de diámetro, marca Jefferson modelo 1330LAO. |
| (7) | 1 | Válvula de seguridad Shut-Off de restablecimiento automático de apertura lenta de 1 1/2" de diámetro para 120 V, 60 Hz., marca HAUCK, modelo VG-40/32. |

TESIS C
FALLA DE ORIGEN

- (8) 1 Válvula de seguridad Shut-Off de restablecimiento automático de apertura lenta de 1/2" de diámetro para 120 V, 60 Hz., marca HAUCK, modelo VG-15-N03.
- (6) 1 Límite de baja presión de gas con restablecimiento manual marca Krom Schroder modelo DG150NT.
- (15) 1 Límite de baja presión de aire con restablecimiento manual, marca Krom Schroder modelo DG-150T.
 - 1 Alarma sonora para 110 V, 60 Hz, marca Whee Lock modelo MT4-115 (instalada en tablero).
 - 1 Circuito de alarmas marca MAROCO modelo JRB de 6 puntos, instalado en tablero.

La forma de operación del sistema de protección en conjunto con los sistemas de combustión y control se exponen en el punto 5.12.

5.11 Sistema de Control.

Para una mayor vida del Incinerador Crematorio y para una mejor operación, el sistema propuesto está formado con base en 2 controladores de temperatura que controlarán la entrada y salida de los quemadores a través de sus válvulas solenoides de control que suministran de forma proporcional la entrada del aire de incineración.

El sistema consta de los siguientes elementos:

- 2 Control indicador digital de temperatura marca HONEYWELL modelo DC-230B-CE-2A-10, entrada para termopar, con salida de control de corriente proporcional 4-20 mA, con una salida auxiliar de control on-off. 2 Alarmas. Alimentación 120 V, 60 Hz. Este controlador ejerce control en el quemador de la cámara (primaria o secundaria) en modo on-off, y la válvula de aire de incineración (de la cámara primaria o secundaria) en modo proporcional. Están instalados en tablero.
- 2 Termopar tipo "K" calibre 8 con funda de cerámica de 1/2" de diámetro, de alta temperatura y longitud de 18". Se instalan en las cámaras primaria y secundaria.
- (19) 1 Válvula mariposa de 2" de diámetro marca HAUCK modelo BVA-420B, para el control de entrada de aire de incineración a la cámara primaria.
- (22) 1 Válvula mariposa de 1 1/2" de diámetro marca HAUCK modelo BVA-115B, para el control de entrada de aire a la cámara secundaria.

2 Motor actuador proporcional marca HONEYWELL modelo M7284A1004.
Se instalan para actuar las dos válvulas anteriores.

La forma de operación del sistema de control en conjunto con los sistemas de combustión y protección se exponen en el punto 5.12.

El material eléctrico que se emplea en la instalación de las líneas de corriente eléctrica alterna, es alambre recubierto para que trabaje a una temperatura máxima de 90 °C para resistir un voltaje máximo de 600 V., en el calibre necesario que demande el amperaje que toma la carga de cada componente. En donde se lleve la corriente eléctrica directa como en el caso de los termopares, se emplea alambre de termopar cal. 14 con forro de asbesto y en las otras líneas de corriente directa cable blindado del No. 19 o 20, todos los cables eléctricos son conducidos por ductos (aeroductos); cuando el número de este es menor de 6 hilos se emplea conduit de pared gruesa galvanizada.

En el tablero de control van instalados el transformador de control, los controles de temperatura, las luces indicadoras, las tablillas terminales, el arrancador del ventilador de incineración, el breaker del circuito, con la capacidad necesaria para la operación del sistema y demás accesorios requeridos para la correcta operación del Incinerador. Todo el tablero debe ir debidamente alambrado e identificado.

5.12. Descripción de la operación de los elementos.

La forma en que van a operar los elementos de los sistemas de combustión, protección y control, se describe mediante la secuencia de control del proceso, la cual se presenta en el diagrama eléctrico bifilar 8-OCM-001-5-5.

El diagrama comienza con la alimentación al sistema de corriente monofásica de 120 V, 60 Hz., la cual hace que se encienda la lámpara del interior del tablero (L1) cuando se abre la puerta del mismo utilizando un micro interruptor (MIP) para tal fin. El sistema se energiza posicionando en ON el interruptor termomagnético (TM) el cual permite la protección del sistema de sobrecargas de voltaje. Una vez energizado el sistema, se enciende la lámpara que indica que el sistema se encuentra en tal estado (L1).

El primer botón pulsador (PB1) es normalmente abierto, de contacto momentáneo y corresponde al arrancador del ventilador. Cuando es pulsado, cierra el circuito energizando la bobina del arrancador (B1) y encendiendo la lámpara (L2) que indica que el ventilador se encuentra operando. El botón pulsador normalmente cerrado (PB1) es para apagar el ventilador, ya que con su pulsación, provoca la desenergización de la bobina.

En seguida se presentan los límites de baja presión de aire de incineración y de baja presión de gas. El primero (LPA1), alarma por baja presión de aire de incineración, sonora y visualmente cuando se presenta tal condición, cerrando el circuito que hace que se encienda la lámpara (L2) y se active la alarma. De esta forma, el circuito que hace que la corriente pase al siguiente límite permanece abierto hasta que la presión del aire sea lo suficientemente alta para que el límite cambie de posición y cierre el circuito

correspondiente, en el que se encuentra el límite de baja presión de gas (LBPG) que de forma similar, alarma sonora y visualmente (L4) que se está presentando tal situación y no cambiará su posición hasta que la presión sea lo suficientemente alta para lograrlo. Cuando se da el cambio de posición en el límite, éste permite el paso de corriente a los límites de temperatura (AICT) de los controladores (CT.1 y CT.2), los cuales tienen una función similar ya que si la temperatura en la cámara correspondiente, se encuentra por arriba del set-point, los límites son los encargados de abrir el circuito, cortando así el flujo de corriente hacia el relevador de falla de flama (RF-1 y /o RF-2) con el consecuente apagado del quemador respectivo y la alarma sonora y visual (L5 y /o L6). Por el contrario, cuando la temperatura de la cámara se encuentra dentro del rango permitido, los límites de operación permiten la energización de los relevadores (R1 y /o R2) posibilitando el encendido de los quemadores por medio de interruptores de palanca (TS1 y /o TS2) de encendido y apagado manuales.

A los relevadores de falla de flama se encuentran conectadas las válvulas solenoides que funcionan como pilotos (VSP-1 y VSP-2) ya que dejan pasar de forma constante un determinado flujo de gas para el encendido del quemador por medio de un transformador de ignición (TI) también conectado al relevador. Si el encendido se logra, la fotocelda ultravioleta (UV1 y /o UV2) detecta la flama permitiendo la apertura de la válvula principal de gas respectiva, mediante la energización del relevador correspondiente (R3 y /o R4), encendiéndose además la lámpara (L8 y /o L10) que indican que el quemador se encuentra encendido. Si la fotocelda no detecta la flama, alarma sonora y visualmente (L7 y /o L9) que hay una falla de flama del quemador del que se trate, con lo que se cierra inmediatamente la válvula principal de gas, hasta que la condición de encendido se restablezca.

Los elementos sensores de temperatura son termopares (T/C-1 y T/C-2), los cuales se encuentran conectados a los controles de temperatura para que se realice el loop de control. Igualmente, los modutroles de aire de incineración (MCI-1 y MCI-2), se encuentran conectados a los controles de temperatura. Como su nombre lo indica, su función es modular el flujo de aire de incineración con base en la temperatura que se esté registrando.

En la secuencia de control posteriormente se presenta el circuito del sistema de apertura y cierre de la puerta del incinerador crematorio, el cual es realmente sencillo ya que mediante un botón pulsador normalmente abierto (PB3) se permite o se interrumpe el flujo de corriente hacia la válvula solenoide (VSPH) que actúa sobre el pistón del sistema de poleas que abre y cierra la puerta a voluntad del operador.

Finalmente se encuentra el circuito de alarmas que al recibir la corriente debido a alguna de las condiciones del proceso señaladas, energiza un relevador (RX) que activa la alarma sonora, la cual es desactivada pulsando el botón normalmente abierto (PB-5), el cual permite la energización del relevador (R6) que silencia la alarma.

Debe hacerse notar que al inicio del proceso de cremación, se pone a funcionar el quemador de la cámara de ignición (1), el cual permanece encendido a capacidad constante

hasta que se alcanza la temperatura normal de operación de dicha cámara (904 °C). En ese momento se enciende el quemador de la cámara de mezclado (2), manteniéndose la temperatura en 904 °C. El sistema de control de temperatura regula la entrada de aire primario y secundario a las cámaras de ignición y de mezclado, respectivamente, mediante las válvulas de mariposa (19 y 22) que se encuentran acopladas a motores actuadores (20), que permiten la regulación de los flujos, de forma que si la temperatura disminuye, las válvulas permiten el paso de una mayor cantidad de aire secundario. Si la temperatura disminuye bruscamente en la cámara de ignición, el quemador regula su capacidad hasta que se alcance nuevamente la temperatura normal de operación.

Como se menciona en la secuencia de control, en caso de que la temperatura se incremente por arriba de 904 °C en la cámara de ignición, el controlador comandará apagar el quemador primario y abrir completamente las válvulas de aire de incineración.

El quemador secundario o de post-incineración permanecerá operando en forma continua durante todo el tiempo que esté en funcionamiento el incinerador, con la finalidad de que los gases que se generan en la cámara de ignición se oxiden de la forma más completa posible durante su paso por la cámara de mezclado.

La presión a la que es suministrado el gas LP es ajustada por un regulador(4). El flujo alimentado es controlado a través de las válvulas de seguridad (7 y 8) y las de orificio limitante (10 y 11), las cuales proporcionan el ajuste fino del flujo requerido. Las válvulas solenoides (9) y las válvulas de orificio limitante (10) que se encuentran formando un by-pass con respecto al flujo de gas a través de las válvulas de seguridad de apertura lenta (7 y 8), tienen la función de pilotos, dejando pasar a través de ellas un determinado flujo constante de gas, que permite al principio de la operación encender el quemador por medio de un transformador de ignición. Dichas válvulas forman parte del sistema de protección contra falla de flama, en conjunto con la válvula de seguridad, la cual no permitirá el paso de gas al quemador hasta que no haya sido detectada la flama por la fotocelda ultravioleta. Si se llegara a extinguir la flama, la fotocelda deja de detectarla por lo que la válvula de seguridad corta el flujo de gas, el cual no se restablecerá hasta que nuevamente sea detectada la flama con la consecuente apertura en la válvula de gas principal, todo esto con el fin de proteger el equipo de este tipo de falla y sus posibles consecuencias, como lo sería una explosión debida a la generación de una atmósfera rica en combustible.

5.13 Sistema Neumático.

El sistema neumático instalado para mover los dispositivos de la puerta del incinerador se compone de las siguientes elementos:

1 Válvula de bola de 1/2" para 125 PSIG

1 Unidad filtro-regulador lubricador (FRL) con manómetro de 1/2" de diámetro marca Schrader Bellows Parker modelo 07L31BE (Lubricador), 07F31AC (Filtro), 07R313AC (Regulador)

1 Válvula de 4 vías 5 puertos, 2 posiciones de 3/8" de diámetro operada por simple solenoide, marca Schrader Bellows Parker modelo 422CE021D53.

1 Válvula reguladora de flujo de 3/8 de diámetro marca Schrader Bellows Parker modelo F600B.

1 Cilindro neumático de 5" de diámetro interior, de 35" de carrera, vástago de 1" de diámetro, marca Bellows Parker modelo 361750350.

1 Silenciador marca Schrader Bellows Parker modelo 4508-0080

2 Interruptores de posición (microswitches) marca Telemecanique modelo XCK-J10541, 1N.A. 1 N.C., para detectar el fin de carrera del pistón de la puerta del incinerador.

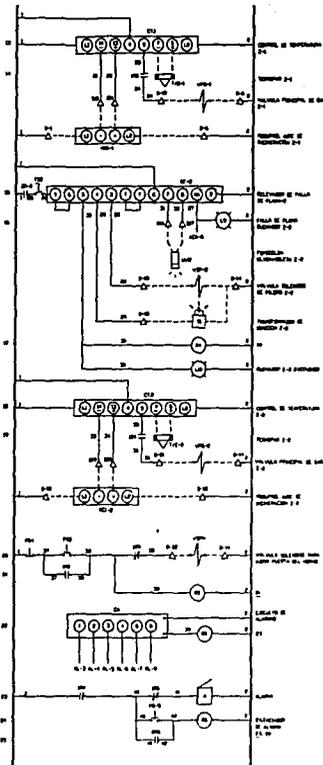
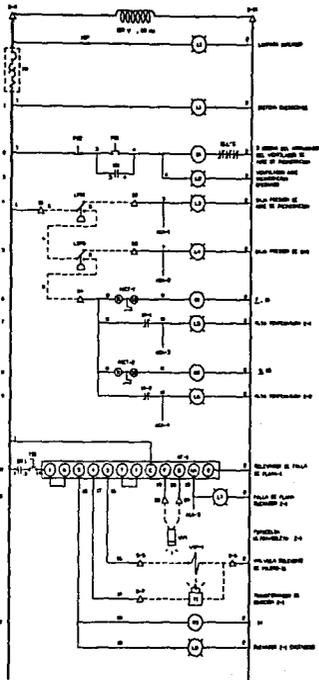
En seguida se encuentran los planos en los que se visualiza la configuración del incinerador crematorio diseñado, en la siguiente secuencia:

- 1-5 Refractorio del Incinerador Crematorio.
- 2-5 Estructura del Incinerador Crematorio.
- 3-5 Puerta del Incinerador Crematorio,
- 4-5 Diagrama Mecánico de Combustión.
- 5-5 Diagrama Eléctrico Bifilar.

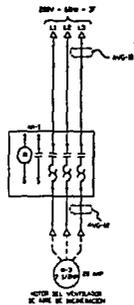


1977
10
10

278
1954



TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN



ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

LISTA DE MATERIAL

UNAM, FES ZARAGOZA
 DIAGRAMA ELECTRICO BIFILAR
 INCINERADOR CREMATOARIO

6-DCM-005-1-5



Conclusiones.

La contaminación atmosférica junto con la disposición de todo tipo de desechos y restos son problemas de dimensiones mundiales, que afectan a la sociedad en su conjunto; lo que ha generado la imperiosa necesidad de establecer una rígida regulación de los criterios de funcionamiento así como de los mínimos requerimientos de diseño de todos aquellos equipos que puedan generar emisiones contaminantes, como es el caso de los incineradores.

El planteamiento de los criterios de diseño termodinámico y mecánico que no sólo permitan la operación eficiente del equipo de incineración sino que establezcan la concepción de un equipo que descargue el mínimo de contaminantes al aire, con el fin de que la operación del mismo se encuentre dentro de los límites establecidos por el marco regulatorio nacional e internacional, sólo se logra tomando en cuenta factores como la adecuación del diseño, los métodos apropiados de construcción y la calidad de los materiales así como los requerimientos de control de la operación.

En el diseño termodinámico y mecánico no sólo de un incinerador crematorio sino de cualquier tipo de incinerador, convergen conceptos de química, fisicoquímica, matemáticas, operaciones unitarias como transferencia de calor y flujo de fluidos, así como balances de materia y energía, para materializar, en un principio en el papel, un equipo que cumpla con todo lo anteriormente mencionado en cuanto a materiales, dimensiones, controles y accesorios, para que el equipo opere en forma óptima desde los puntos de vista de eficiencia del incinerador, ahorro de energía y emisiones a la atmósfera.

Los objetivos planteados al principio de este trabajo de tesis se alcanzaron al establecer los criterios de diseño termodinámico que permiten la concepción de un incinerador crematorio que opera eficientemente y con el máximo ahorro de energía posible, ya que con la realización del balance de materia y energía, se encontraron los valores de las variables que repercuten directamente en el consumo de combustible. Igualmente se establecieron los criterios de diseño mecánico que permiten la construcción de un incinerador crematorio funcional ya que con el cálculo de los flujos a través de las cámaras, se obtienen las dimensiones que debe tener el equipo de acuerdo con la teoría para que la operación se realice en forma idónea. Finalmente se establecieron los criterios de diseño que permiten el debido control de la operación que evita que con la operación del incinerador crematorio se emitan contaminantes a la atmósfera en una proporción mayor a la permitida, con el aseguramiento de la combustión completa de la carga, el establecimiento de una configuración de diseño adecuada y el planteamiento de la utilización del equipo de control que permite que el incinerador opere prácticamente sin fallas.

El planteamiento de un diseño termodinámico y mecánico, conforme a lo que dictan los estándares internacionales [1 y 5], en conjunto con los datos arrojados por el balance de masa y energía, que tomó en cuenta la que hasta el momento se considera la composición más aproximada a la del cuerpo humano en promedio, hacen que el diseño del Incinerador Crematorio de Cuerpos Humanos propuesto en el presente trabajo de tesis, constituya una verdadera alternativa a los diseños ya existentes que no tomaron en cuenta la información a la que actualmente se tiene acceso.

Desde el punto de vista práctico, el Incinerador Crematorio de Cuerpos Humanos propuesto es un proyecto que, de ser construido con tecnología mexicana puede resultar más económico que los que actualmente se encuentran en el mercado, que utilizan equipo que puede encontrarse sobrado pero que no es de la alta calidad con la que se construiría el diseño aquí planteado y cuya configuración no permite que la vida promedio del equipo sea la esperada. Por supuesto que los elementos especificados como quemadores, válvulas, reguladores, etc., pueden ser sustituidos por otros de marcas diferentes, siempre y cuando cuenten con la capacidad indicada para asegurar el buen funcionamiento del equipo y una operación sin problemas, como los elementos aquí propuestos, cuya calidad es una garantía.

A groso modo y sin hacer el desglose de costos pertinente, puede estimarse que el equipo propuesto tiene un precio de venta de aproximadamente 50,000 dólares americanos que es el precio promedio que se maneja en el mercado para este tipo de equipos pero que no son tan robustos, como ya se mencionó. Cabe decir que la compañía Constructora de Hornos y Tableros Industriales SA de CV, ha comprado el diseño desarrollado en el presente trabajo de tesis por lo que en cuanto se interese un cliente en la adquisición de un Incinerador Crematorio de Cuerpos Humanos, todo lo expuesto anteriormente constituirá la base para que sea construido.

Finalmente, queda mencionar que la cremación de cuerpos humanos es una operación que contribuye a solucionar los problemas de espacio que se presentan en ciudades como la de México, en la que conseguir un lote en un panteón se toma cada vez más difícil y costoso, debido a la disminución de la oferta de estos lugares, por lo que la cremación representa una verdadera alternativa de solución a tal problema, independientemente de la ideología y creencias de cada persona.

*Glosario de Términos Utilizados
en las Normas Oficiales Mexicanas.*

Alimentación de residuos.

Suministro de residuos a la cámara de ignición del incinerador.

Alimentación manual.

Carga de residuos realizada por los operadores directamente a la cámara de combustión primaria del incinerador.

Calentamiento directo.

La transferencia de calor por flama, gases de combustión o por ambos, al entrar en contacto directo con los materiales del proceso.

Calentamiento indirecto.

La transferencia de calor por gases de combustión que no entran en contacto directo con los materiales del proceso.

Cámara de combustión primaria.

Compartimiento en donde se realiza la ignición y se lleva a cabo la combustión parcial de los residuos.

Cámara de combustión final.

Compartimiento en donde se lleva a cabo la combustión final de los gases producidos por la incineración de los residuos.

Capacidad calorífica del equipo.

Es la cantidad de calor de diseño que requiere el equipo de incineración para mantener las condiciones de operación durante una hora y sus unidades son Joules /h.

Capacidad nominal.

La potencia térmica de diseño de un equipo de combustión indicada por el fabricante.

Certificado de emisión.

El documento expedido por la Secretaría que acredita la cantidad de contaminantes a la atmósfera que puede emitir una fuente fija en un año de acuerdo a su capacidad nominal y al nivel regional de emisiones.

Ciclo combinado.

Proceso para la obtención de calor en dos etapas que incluye en la primera, la generación de gases de combustión y la expansión de los mismos y en la segunda, transferencia y recuperación del calor con propósito de generación de energía eléctrica.

Combustibles fósiles sólidos, líquidos y gaseosos.

Los combustibles sólidos se refieren a las variedades de carbón mineral cuyo contenido fijo de carbono varía desde 10% hasta 90% en peso y al coque de petróleo.

Los combustibles fósiles líquidos o gaseosos son los derivados del petróleo y gas natural tales como petróleo diáfano, diesel, combustóleo, gasóleo, gas L.P., butano, propano, metano, isobutano, propileno, butileno o cualquiera de sus combinaciones.

Combustión.

Método de tratamiento que consiste en la oxidación de los residuos mediante procesos controlados a altas temperaturas. || Proceso controlado de oxidación rápida que se sucede durante la combinación de oxígeno con aquellos materiales o sustancias contenidas en los residuos capaces de oxidarse.

Consumo energético horario.

Es la cantidad empleada de un combustible por hora multiplicada por su poder calorífico y se expresa en MJ/h

Cremación.

Proceso para la destrucción de partes orgánicas y residuos patológicos mediante la combustión.

CRETIB.

El código de clasificación de las características que contienen los residuos peligrosos y que significan: corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable y biológico infeccioso.

Densidad de humo.

La concentración de partículas sólidas o líquidas transportadas por la corriente de gases producto de una combustión incompleta.

Emisión.

La descarga directa o indirecta a la atmósfera de toda sustancia, en cualquiera de sus estados físicos, o de energía.

Equipo de combustión existente.

El instalado y/o el proyectado y aprobado para su instalación por la autoridad competente antes de la publicación de la Norma Oficial Mexicana correspondiente.

Equipo de combustión nuevo.

El instalado por primera vez, por sustitución de un equipo existente o aprobado por la autoridad competente, en fecha posterior a la publicación de la presente Norma Oficial Mexicana correspondiente.

Equipo de control de emisiones.

Dispositivo de control operado al final de los equipos de proceso y cuyo propósito es remover partículas y gases.

Flujo de gases.

La cantidad de gases que fluye por un conducto por unidad de tiempo.

Fuente Fija.

La instalación o conjunto de instalaciones pertenecientes a una sola persona física o moral, ubicadas en una poligonal cerrada que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales o de servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera.

Fuente móvil.

Aviones, helicópteros, ferrocarriles, tranvías, tractocamiones, autobuses integrales, camiones, automóviles, motocicletas, embarcaciones, equipo y maquinarias no fijos con motores de combustión y similares, que con motivo de su operación generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera.

Fuente múltiple.

Aquella fuente fija que tiene dos o más ductos o chimeneas por las que se descargan las emisiones a la atmósfera, provenientes de un solo proceso.

Fuente no específica.

Las actividades que generan residuos peligrosos y que pueden aplicarse a diferentes giros o procesos.

Fuente nueva.

Es aquella en la que se instale por primera vez un proceso o se modifiquen los existentes.

Incinerador.

Equipo empleado para la oxidación térmica de residuos con o sin recuperación de calor producido por la combustión, con sus respectivos dispositivos de control de emisiones de temperatura y composición de gases, ventiladores y las tolvas de recepción de cenizas.

Inmisión.

La presencia de contaminantes en la atmósfera, a nivel de piso.

Instalación de incineración.

Predio ocupado por las unidades de incineración para la oxidación térmica de residuos, con o sin recuperación del calor producido por la combustión, incluyendo las áreas de recepción, almacenamiento y tratamiento previo de los residuos, el incinerador, sus sistemas de alimentación de residuos, combustible y aire, los sistemas de tratamiento de los gases de escape y de las aguas residuales, así como los dispositivos y sistemas de control de las operaciones de incineración, registro y supervisión de las condiciones de operación.

Límite de emisión ponderada.

El promedio permisible de descarga de un contaminante a la atmósfera, aplicable a cada fuente fija.

Monitoreo continuo.

El que se realiza con equipo automático con un mínimo de 15 lecturas en un periodo no menor de 60 minutos y un periodo no mayor de 360 minutos. El resultado del monitoreo es el promedio del periodo muestreado.

Número de mancha.

El valor numérico que se obtiene al comparar la mancha producto del paso de un cierto volumen de gas de combustión por un papel filtro con las tonalidades de la escala patrón equivalente.

Operación de arranque del equipo de combustión.

El inicio de operación de los procesos de combustión.

Operación de soplado.

La limpieza de hollín de los tubos de una caldera mediante la inyección de aire, vapor u otro fluido a presión.

Órgano.

La entidad morfológica compuesta por la agrupación de tejidos diferentes que concurren al desempeño del mismo trabajo fisiológico.

Residuos industriales no peligrosos.

Aquellos generados en procesos industriales que no estén considerados en la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993 y aquellos que la Secretaría certifique como tal.

Residuos municipales.

Aquellos que provienen de actividades que se desarrollan en casa habitación, sitios públicos, parques, jardines, mercados, establecimientos comerciales y de servicios, así como también cualquier otro que no se derive de un proceso industrial.

Residuo Peligroso Biológico-Infecioso.

El que contiene bacterias, virus u otros microorganismos con capacidad de causar infección o que contiene o puede contener toxinas producidas por microorganismos que causan efectos nocivos a seres vivos y al ambiente, que se generan en establecimientos de atención médica.

Sangre.

El tejido hemático con todos sus elementos.

Solución acuosa.

La mezcla en la cual el agua es el componente primario y constituye por lo menos el 50% en peso de la muestra.

Tejido.

La entidad morfológica compuesta por la agrupación de células de la misma naturaleza, ordenadas con regularidad y que desempeñan una misma función.

Plataforma y puertos de muestreo.

Instalaciones para realizar el muestreo de gases o partículas en ductos o chimeneas.

Zona crítica.

Aquella en la que por sus condiciones topográficas y meteorológicas se dificulte la dispersión o se registren altas concentraciones de contaminantes a la atmósfera.

Zona Fronteriza Norte.

La faja de 100 kilómetros de ancho comprendida en el territorio nacional, medida a partir de la línea divisoria terrestre entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América.

Zona Metropolitana de la Ciudad de Guadalajara.

El área integrada por los siguientes municipios del Estado de Jalisco: Guadalajara, Ixtlahuacán del Río, Tlaquepaque, Tonalá, Zapotlanejo y Zapopan.

Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

El área integrada por las 16 Delegaciones Políticas del Distrito Federal y los siguientes 17 municipios del Estado de México: Atizapán de Zaragoza, Coacalco, Cuautitlán de Romero Rubio, Cuautitlán Izcalli, Chalco de Covarrubias, Chimalhuacán, Ecatepec, Huixquilucan, Ixtapaluca, La Paz, Naucalpan de Juárez, Nezahualcóyotl, San Vicente Chicoloapan, Nicolás Romero, Tecámac, Tlalnepantla y Tultitlán.

Zona Metropolitana de la Ciudad de Monterrey.

El área integrada por los siguientes municipios del Estado de Nuevo León: Monterrey, Apodaca, General Escobedo, Guadalupe, San Nicolás de los Garza, San Pedro Garza García, Santa Catarina y Juárez.

Apéndice
Sección A

Tablas de la Norma Oficial Mexicana NOM-52-ECOL-1993.

Tabla A1 Clasificación de residuos peligrosos por giro industrial y proceso.

No. de giro	Giro industrial y Proceso.	Clave Cretib	Residuo peligroso	No. Ine
1 ACABADO DE METALES Y GALVANOPLASTIA.				
1.1	PRODUCCION EN GENERAL.	(T)	LODOS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL LAVADO DE METALES PARA REMOVER SOLUCIONES CONCENTRADAS.	RP1.1/01
		(T)	LODOS PROVENIENTES DE LAS OPERACIONES DEL DESENGRASADO.	RP1.1/02
		(T)	SALES PRECIPITADAS DE LOS BAÑOS DE REGENERACION DE NIQUEL.	RP1.1/03
		(T)	BAÑOS DE ANODIZACION DEL ALUMINIO	RP1.1/04
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL LATONADO.	RP1.1/05
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL CADMIZADO.	RP1.1/06
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL CROMADO.	RP1.1/07
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL COBRIZADO.	RP1.1/08
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL PLATEADO.	RP1.1/09
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL ESTAÑADO.	RP1.1/10
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL NIQUELADO.	RP1.1/11
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL ZINCADO.	RP1.1/12
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL TROPICALIZADO.	RP1.1/13
		(T)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS DE LOS TANQUES DE ENFRIAMIENTO POR ACEITES EN LAS OPERACIONES DE TRATAMIENTO EN CALIENTE DE METALES.	RP1.1/14
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y CEDIMENTOS DE LOS BAÑOS DE CIANURO DE LAS OPERACIONES DE GALVANOPLASTIA.	RP1.1/15
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS DE CIANURO DE LOS TANQUES DE LIMPIEZA CON SALES EN LAS OPERACIONES DE TRATAMIENTO EN CALIENTE DE METALES.	RP1.1/16
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DE LOS BAÑOS DE FOSFATIZADO.	RP1.1/17
		(T,C)	RESIDUOS DE CATALIZADORES AGOTADOS.	RP1.1/18
		(T)	RESIDUOS CONTENIENDO MERCURIO DE LOS PROCESOS ELECTROLITICOS.	RP1.1/19

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla A1 Clasificación de residuos peligrosos por giro industrial y proceso (continuación).

No.de giro	Giro industrial y Proceso.	Clave Cretib	Residuo peligroso	No. line
2. BENEFICIO DE METALES				
2.1	FUNDICION DE PLOMO PRIMARIA.	(T)	LODOS Y POLVOS DEL EQUIPO DE CONTROL DE EMISIONES DEL AFINADO.	RP2.1/01
		(T)	LODOS PROVENIENTES DE LA LAGUNA DE EVAPORACION.	RP2.1/02
		(T)	SOLUCION RESIDUAL DEL LAVADOR DE GASES QUE PROVIENE DEL PROCESO DEL AFINADO.	RP2.1/03
2.2	FUNDICION DE PLOMO SECUNDARIO.	(T)	LODOS Y POLVOS DEL EQUIPO DE CONTROL DE EMISIONES DEL AFINADO.	RP2.2/01
		(T)	ESCORIAS PROVENIENTES DEL HORNO.	RP2.2/02
		(T)	LODOS PROVENIENTES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	RP2.2/03
2.3	PRODUCCION DE ALUMINIO.	(C,T)	LODOS Y POLVOS DEL LAVADOR DE GASES QUE PROVIENEN DEL PROCESO DEL AFINADO.	RP2.2/04
		(C,T)	LODOS DE LAS SOLUCIONES DE CAL DEL LAVADOR DE GASES EN LA FUNDICION Y REFINADO DE ALUMINIO.	P2.3/01
		(C,T)	SOLUCIONES GASTADAS PROVENIENTES DE LA EXTRUSION.	RP2.3/02
2.4	PRODUCCION PRIMARIA DE COBRE	(T)	ESCORIAS PROVENIENTES DEL HORNO DE FUNDICION DE CHATARRA DE ALUMINIO.	RP2.3/03
		(T)	LODOS DE LAS PURGAS DE LAS PLANTAS DE ACIDO.	RP2.4/01
2.5	PRODUCCION SECUNDARIA DE COBRE	(T)	RESIDUOS DEL PROCESO DE EXTRUSION DE TUBERIA DE COBRE.	RP2.4/02
		(T)	ESCORIAS PROVENIENTES DEL HORNO.	RP2.5/01
2.6	PRODUCCION DE COQUE.	(T)	RESIDUOS DEL PROCESO DE EXTRUSION DE TUBERIA DE COBRE.	RP2.5/02
		(T)	LODOS DE DESTILACION CON CAL AMONIACAL.	RP2.6/01
2.7	PRODUCCION DE HIERRO Y ACERO.	(T)	LIXIVIADOS Y CENIZAS DEL PROCESO DE COQUIZADO.	RP2.6/02
		(T)	LODOS DE ALQUITRAN DEL TANQUE SEDIMENTADOR.	RP2.6/03
		(C,T)	RESIDUOS DEL ACEITE GASTADO.	RP2.7/01
2.8	PRODUCCION DE ALEACIONES DE HIERRO.	(C,T)	LICOR GASTADO EN LAS OPERACIONES DE ACERO INOXIDABLE.	RP2.7/02
		(T)	LODOS Y POLVOS DEL EQUIPO DE CONTROL DE EMISIONES DE HORNOS ELECTRICOS.	RP2.7/03
		(T)	LODOS Y POLVOS DEL EQUIPO DE CONTROL DE EMISIONES EN LA PRODUCCION DE HIERRO-CROMO.	RP2.8/01
		(T)	COLAS EN LAS PLANTAS DE MANUFACTURA DE HIERRO-NIQUEL.	RP2.8/02
		(T)	ESCORIAS PROVENIENTES DEL HORNO.	RP2.8/03
		(T)	CASCARILLA Y/O COSTRAS METALICAS ACEITOSAS DEL PROCESO DE FORJA EN CALIENTE.	RP2.8/04

Tabla A1 Clasificación de residuos peligrosos por giro industrial y proceso (continuación).

No.de giro	Giro Industrial y Proceso.	Clave Cretib	Residuo peligroso	No. Ine
2.9	PRODUCCION DE COMPUESTOS DE NIQUEL.	(T)	LODOS DE LA MANUFACTURA DE ALEACIONES DE NIQUEL.	RP2.9/01
	PRODUCCION PRIMARIA DE ZINC.	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION DE CARBONILO DE NIQUEL.	RP2.9/02
2.10		(T)	LODOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y/O PURGAS DE LA PLANTA DE ACIDO.	RP2.10/01
		(T)	LODOS DEL ANODO ELECTROLITICO	RP2.10/02
		(T)	RESIDUO DEL LIXIVIADO DE CADMIO.	RP2.10/03
3. COMPONENTES ELECTRONICOS				
3.1	OPERACIONES DE MAQUILA, FORMACION Y TERMOFORMACION PLASTICA DE COMPONENTES ELECTRONICOS.	(I,T)	ACEITES RESIDUALES DE LAS OPERACIONES.	RP3.1/01
3.2	OPERACIONES DE MAQUILA, QUIMICA/ELECTRO-QUIMICA Y REVESTIMIENTO DE COMPONENTES ELECTRONICOS.	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS OPERACIONES.	RP3.2/01
3.3	OPERACIONES DE REVESTIMIENTO DE COMPONENTES ELECTRONICOS.	(T)	RESIDUOS DE PINTURA.	RP3.3/01
3.4	PRODUCCION DECINTAS MAGNETICAS.	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION.	RP3.4/01
3.5	PRODUCCION DE CIRCUITOS ELECTRONICOS.	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION.	RP3.5/01
3.6	PRODUCCION DE SEMICONDUCTORES.	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION.	RP3.6/01
3.7	PRODUCCION DE TUBOS ELECTRONICOS.	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION.	RP3.7/01
4. CURTIDURIA				
4.1	ACABADO DE PRODUCTOS DE CUERO.	(T)	RESIDUOS DE LOS ACABADOS.	RP4.1/01
4.2	CURTIDO DE CUERO.	(C,T)	RESIDUOS DE LA CURTIDURIA.	RP4.2/01

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Tabla A1 Clasificación de residuos peligrosos por giro industrial y proceso (continuación).

No.de giro	Giro Industrial y Proceso.	Clave Cretib	Residuo peligroso	No. ine
5.	EXPLOSIVOS.			
5.1	PRODUCCION EN GENERAL.	(R,E)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	RP5.1/01
		(R,E)	CARBON AGOTADO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES QUE CONTIENEN EXPLOSIVOS.	RP5.1/02
		(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA FABRICACION, FORMULACION Y CARGA DE LOS COMPUESTOS INICIADORES DEL PLOMO BASE.	RP5.1/03
		(R,E)	AGUA ROSA-ROJA DE LAS OPERACIONES DE TNT.	RP5.1/04
		(R,E)	RESIDUOS DE LA MANUFACTURA DE CERILLOS Y PRODUCTOS PIROTECNICOS.	RP5.1/05
		(R,E)	RESIDUOS DE LA MANUFACTURA DEL PROPELENTE SÓLIDO.	RP5.1/06
6.	PRODUCCION DE HULE			
6.1	HULE SINTETICO Y NATURAL.	(T)	MATERIALES DE DESECHO PROVENIENTES DE LA TRANSFORMACION EN LA MANUFACTURA DE HULE NATURAL Y SINTETICO.	RP6.1/01
		(T)	RESIDUOS DE NITROBENCENO PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA HULERA.	RP6.1/02
7.	MATERIALES PLASTICOS Y RESINAS SINTETICAS.			
7.1	PRODUCCION DE FIBRA DE RAYON.	(T,I)	FONDAJES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE MONOMEROS.	RP7.1/01
		(T)	LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	RP7.1/02
		(T)	LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LOS SISTEMAS DE LAVADO DE EMISIONES ATMOSFERICAS.	RP7.1/03
7.2	PRODUCCION DE LATEX ESTIRENOBUT ADIENO.	(T,I)	FONDAJES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE MONOMEROS.	RP7.2/01
		(T)	LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	RP7.2/02
		(T)	LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LOS SISTEMAS DE LAVADO DE EMISIONES ATMOSFERICAS.	RP7.2/03
7.3	PRODUCCION DE RESINAS ACRILONITRIL O BUTADIENO ESTIRENO.	(T)	FONDAJES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE MONOMEROS	RP7.3/01
		(T)	LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	RP7.3/02
		(T,I)	LODOS DE AGUAS RESIDUALES DE LOS SISTEMAS DE LAVADO DE EMISIONES ATMOSFERICAS.	RP7.3/03
		(T)	PIGMENTOS RESIDUALES.	RP7.3/04

Tabla A1 Clasificación de residuos peligrosos por giro industrial y proceso (continuación).

No. de giro	Giro Industrial y Proceso.	Clave Cretib	Residuo peligroso	No. ine
7.4	PRODUCCION DE RESINAS DERIVADAS DEL FENOL.	(T,I)	FONDAJES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE MONOMEROS.	RP7.4/01
		(T)	LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	RP7.4/02
		(T)	LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LOS SISTEMAS DE LAVADO DE EMISIONES ATMOSFERICAS.	RP7.4/03
7.5	PRODUCCION DE RESINAS POLIESTER.	(T)	CATALIZADOR GASTADO.	RP7.5/01
		(T,I)	FONDAJES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE MONOMEROS.	RP7.5/02
		(T)	LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	RP7.5/03
		(T)	LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LOS SISTEMAS DE LAVADO DE EMISIONES ATMOSFERICAS.	RP7.5/04
		(T)	PIGMENTOS RESIDUALES.	RP7.5/05
7.6	PRODUCCION DE RESINAS DE POLIURETANO	(T,I)	FONDAJES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE MONOMEROS.	RP7.6/01
		(T)	LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES.	RP7.6/02
		(T)	LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LOS SISTEMAS DE LAVADO DE EMISIONES ATMOSFERICAS	RP7.6/03
7.7	PRODUCCION DE RESINAS DE SILICON.	(T,I)	FONDAJES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE MONOMEROS.	RP7.7/01
		(T)	LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES.	RP7.7/02
		(T)	LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LOS SISTEMAS DE LAVADO DE EMISIONES ATMOSFERICAS.	RP7.7/03
		(T)	SOLVENTES GASTADOS.	RP7.7/04
7.8	PRODUCCION DE RESINAS VINILICAS.	(T,I)	FONDAJES DE TAQUES DE ALMACENAMIENTO DE MONOMEROS.	RP7.8/01
		(T)	LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	RP7.8/02
8.	METALMECANICA			
8.1	PRODUCCION EN GENERAL.	(T)	ACEITES GASTADOS DE CORTE Y ENFRIAMIENTO EN LAS OPERACIONES DE TALLERES DE MAQUINADO.	RP8.1/01
		(T)	RESIDUOS PROVENIENTES DE LAS OPERACIONES DE BARRENADO Y ESMERILADO.	RP8.1/02
		(T)	SOLUCIONES DE LOS BAÑOS DE TEMPLADO PROVENIENTES DE LAS OPERACIONES DE ENFRIAMIENTO.	RP8.1/03
		(C,T)	RESIDUOS DE LAS OPERACIONES DE LIMPEZA, ALCALINA O ACIDA.	RP8.1/04
		(T,I)	PINTURAS, SOLVENTES, LODOS, LIMPIADORES Y RESIDUOS PROVENIENTES DE LAS OPERACIONES DE RECUBRIMIENTO, PINTANDO Y LIMPIEZA.	RP8.1/05
(T)	LODOS PRODUCTO DE LA REGENERACION DE ACEITES GASTADOS.	RP8.1/06		

**TESIS CON
FALTA DE ORIGEN**

Tabla A1 Clasificación de residuos peligrosos por giro industrial y proceso (continuación).

No.de giro 9.	Giro industrial y Proceso.	Clave Cretib	Residuo peligroso	No. Inc
<i>MINERIA</i>				
9.1	EXTRACCION DE ANTIMONIO.	(T)	JALES Y COLAS PROVENIENTES DE LA CONCENTRACION DEL MINERAL.	RP9.1/01
9.2	EXTRACCION DE OXIDOS DE COBRE.	(T)	RESIDUOS PROVENIENTES DE LA CONCENTRACION DEL MINERAL A TRAVES DE LIXIVIACION POR CEMENTACION DE FIERRO SEGUIDO POR PRECIPITACION DEL HIERRO.	RP9.2/01
		(T)	RESIDUOS PROVENIENTES DE LA CONCENTRACION DEL MINERAL POR EL PROCESO DE LIXIVIACION POR VERTIDO SEGUIDO POR PRECIPITACION DEL HIERRO.	RP9.2/02
		(T)	RESIDUOS PROVENIENTES DEL PROCESO DE LIXIVIACION INSITU SEGUIDA POR PRECIPITACION DEL HIERRO.	RP9.2/03
9.3.	EXTRACCION DE PIRITA DE COBRE.	(T)	JALES DE LA CONCENTRACION DEL MINERAL POR LAS TECNICAS DE FLOTACION Y LIXIVIADO EN TINA.	RP9.3/01
		(T)	RESIDUOS PROVENIENTES DE LA CONCENTRACION DEL MINERAL MEZCLADOS CON OXIDOS DE COBRE USANDO LA TECNICA DE PRECIPITACION DEL HIERRO.	RP9.3/02
9.4	EXTRACION DEL PLOMO ZINC.	(T)	JALES PROVENIENTES DE LA CONCENTRACION DE LOS SOLIDOS POR FLOTACION.	RP9.4/01
<i>10. PETROLEO Y PETROQUIMICA.</i>				
10.1	EXTRACCION DE PETROLEO	(R,I)	RECORTE DE PERFORACION DE POZOS PETROLEROS EN LOS CUALES SE USEN LADOS DE EMULSION INVERSA.	RP10.1/01
10.2	REFINACION DEL PETROLEO.	(T)	NATAS DEL SISTEMA DE FLOTACION CON AIRE DISUELTO (FAD).	RP10.2/01
		(T)	LADOS DEL SEPARADOR API Y CARCAMOS.	RP10.2/02
		(T)	LADOS SIN TRATAR DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO QUE CONTENGAN SUBSTANCIAS TOXICAS QUE REBASAN LOS LIMITES PERMITIDOS POR ESTA NORMA.	RP10.2/03
		(T)	LADOS DE TRATAMIENTOS BIOLOGICOS QUE CONTENGAN METALES PESADOS O SUBSTANCIAS TOXICAS QUE REBASAN LOS LIMITES PERMITIDOS POR ESTA NORMA.	RP10.2/04
10.3	PETROQUIMICA.			
10.3.1	PRODUCCION DE ACRILONITRILLO	(T)	POLIMERO Y CATALIZADOR USADO DE LA PURGA DE LA TORRE DE APAGADO.	RP10.3./ 01
10.3.2	PRODUCCION DE BUTADIENO.	(T)	RESIDUOS DE LA DESHIDROGENACION DEL N-BUTANO.	RP10.3.2/ 01

Tabla A1 Clasificación de residuos peligrosos por giro industrial y proceso (continuación).

No.de giro	Giro industrial y Proceso.	Clave Cretlb	Residuo peligroso	No. ine
10.3.3	PRODUCCION DE DERIVADOS CLORADOS.	(C,T,I)	CLORADOS INTERMEDIOS PROVENIENTES DEL FONDO DE LA COLUMNA REDESTILADORA DE MONOMERO DE CLORURO DE VINILO.	RP10.3.3/01
		(C,T,I)	CLORADOS PESADOS PROVENIENTES DE LOS FONDOS DE LA COLUMNA DE PURIFICACION DE DICLOROETANO.	RP10.3.3/02
10.3.4	PRODUCCION DE ACETALDEHIDO.	(C,T,I)	CROTONALDEHIDO RESIDUAL DEL CORTE LATERAL DE LA TORRE DE DESTILACION DEL PROCESO VIA OXIGENO.	RP10.3.4/01
		(C,T)	CLORACETALDEHIDO PROVENIENTE DEL FONDO DE LA TORRE PURIFICADORA Y TORRE LATERAL DEL PROCESO VIA AIRE.	RP10.3.4/02
10.3.5	PRODUCCION DE ESTIRENO-ETILBENCENO.	(T)	CATALIZADOR CON OXIDOS DE FIERRO, CROMO Y POTASIO PROVENIENTES DEL REACTOR DE DESHIDROGENACION.	RP10.3.5/01
10.3.6	PRODUCCION DE PERCLOROETILENO	(T)	DERIVADOS HEXACLORADOS PROVENIENTES DE LOS FONDOS DE LA COLUMNA DE RECUPERACION DE PERCLOROETILENO.	RP10.3.6/01
10.3.7	TRATAMIENTO PRIMARIO DE EFLUENTES.	(T,I)	LODOS DE LOS SEPARADORES API Y CARCAMOS.	RP10.3.7/01
11 PINTURAS Y PRODUCTOS RELACIONADOS.				
		(T)	RESIDUOS DE RETARDADORES DE FLAMA Y PINTURAS DE BASE.	RP11.1/02
		(T)	RESIDUOS DEL SECADOR DE BARNIZ.	RP11.1/03
11.1	PRODUCCION DE MASTIQUE Y PRODUCTOS DERIVADOS.	(T,C)	AGENTES LIMPIADORES Y LODOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	RP11.1/01
		(T)	BOLSAS Y EMPAQUES DE MATERIA PRIMA.	RP11.1/02
		(T)	RESIDUOS DEL EQUIPO DE CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AIRE.	RP11.1/03
11.2	PRODUCCION DE PINTURAS.	(T,I)	AGENTES LIMPIADORES Y LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE PINTURAS BASE SOLVENTE.	RP11.1/01
		(T)	RESIDUOS DE MATERIAS PRIMAS EN LA PRODUCCION DE PINTURAS ENLISTADAS EN EL ANEXO 5.	RP11.2/02
		(T,I)	BOLSAS Y ENVASES DE MATERIA PRIMA ENLISTADAS EN EL ANEXO 5.	RP11.2/03
		(T)	LODOS PROVENIENTES DE LA PRODUCCION.	RP11.2/04
		(T)	AGENTES LIMPIADORES Y LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE PINTURAS BASE-AGUA.	RP11.2/05

TESIS CON FALTA DE ORIGEN

Tabla A1 Clasificación de residuos peligrosos por giro industrial y proceso (continuación).

No. de giro	Giro industrial y Proceso.	Clave Cretib	Residuo peligroso	No. Ine
12.	<i>PLAGUICIDAS.</i>			
12.1	PRODUCCION DEL ACIDO ETILENO-BISDITIOCARBAMICO Y SUS SALES.	(T)	AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO (INCLUYENDO SOBRENADANTES, FILTRADOS Y AGUAS DE LAVADO)	RP12.1/01
		(C,T)	AGUAS DE LAVADO DEL VENTEO DEL REACTOR.	RP12.1/02
		(T)	SÓLIDOS DE LA FILTRACION, EVAPORACION Y CENTRIFUGADO.	RP12.1/03
		(T)	POLVOS RECOLECTADOS EN FILTROS DE BOLSA Y BARRIDO DEL PISO EN LAS OPERACIONES DE MOLIENDA Y EMBALAJE.	RP12.1/04
12.2	PRODUCCION DE ATRACINA.	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION.	RP12.2/01
12.3	PRODUCCION DE BROMURO DE METILO.	(C,T)	AGUAS RESIDUALES DEL RECTOR Y ACIDO SULFURICO GASTADO DEL SECADOR DEL ACIDO.	RP12.3/01
		(T)	ABSORBENTES GASTADOS Y AGUAS RESIDUALES DEL SEPARADOR DE SOLIDOS.	RP12.3/02
12.4	PRODUCCION DE CLORDANO.	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	RP12.4/01
		(T)	AGUAS RESIDUALES Y AGUAS DE LAVADO DE LA CLORACION DEL CICLOPENTADIENO.	RP12.4/02
		(T)	SOLIDOS RETENIDOS EN LA FILTRACION DE HEXACLOROCICLOPENTADIENO.	RP12.4/03
		(T)	RESIDUOS DEL LAVADOR AL VACIO DEL CLORADOR DE CLORDANO.	RP12.4/04
12.5	PRODUCCION DE CLOROTOLUENO.	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION.	RP12.5/01
12.6	PRODUCCION DE CREOSOTA.	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	RP12.6/01
12.7	PRODUCCION DE 2,4-D (DICLOROFENOL)	(T)	RESIDUOS DEL 2,6-DICLOROFENOL.	RP12.7/01
		(T)	AGUAS RESIDUALES NO TRATADAS.	RP12.7/02
12.8	PRODUCCION DE DISULFOTON.	(T)	FONDOS DE DESTILACION EN LA RECUPERACION DE TOLUENO.	RP12.8/01
		(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	RP12.8/02
12.9	PRODUCCION DE FORATO.	(T)	AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO.	RP12.9/01
		(T)	SOLIDOS DE LA FILTRACION DEL ACIDO DIETILFOSFORODITIOICO.	RP12.9/02
		(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	RP12.9/03
12.10	PRODUCCION DE MALATION.	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION.	RP12.10/01

Tabla A1 Clasificación de residuos peligrosos por giro industrial y proceso (continuación).

No.de giro	Giro industrial y Proceso.	Clave Cretfb	Residuo peligroso	No. ine
12.11	PRODUCCION DE METIL META ARSENIATO DE SODIO Y ACIDO CACODILICO.	(T)	SUBPRODUCTOS SALINOS.	RP12.11/01
12.12	PRODUCCION DE PARATION Y METIL PARATION.	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION.	RP12.12/01
12.13	PRODUCCION DE TOXAFENO.	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	RP12.13/01
		(T)	AGUAS RESIDUALES NO TRATADAS DEL PROCESO.	RP12.13/02
13 PRESERVACION DE LA MADERA.				
	PRODUCCION GENERAL.	EN (T)	LODOS SEDIMENTADOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS EN PROCESOS QUE UTILIZAN: CRESOTA, CLOROFENOL, PENTACLOROFENOL Y ARSENICALES.	RP13.1/01
		(T)	RESIDUOS DEL PROCESO DE CLORACION EN LA PRODUCCION DE PRESERVATIVOS PARA MADERA.	RP13.1/02
14. PRODUCCION DE BATERIAS.				
14.1	PRODUCCION EN GENERAL.	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA PRODUCCION DE BATERIAS DE PLOMO ACIDO.	RP14.1/01
		(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA PRODUCCION DE BATERIAS DE NIQUEL-CADMIO.	RP14.1/02
		(T)	PRODUCTOS DE DESECHOS DE LAS BATERIAS NIQUEL-CADMIO.	RP14.1/03
		(T)	PRODUCTOS DE DESECHOS DE LAS BATERIAS ZINC-CARBONO.	RP14.1/04
		(T)	PRODUCTOS DE DESECHOS DE BATERIAS ALCALINAS.	RP14.1/05
		(T)	BATERIAS DE DESECHOS Y RESIDUOS DE LOS HORNOS DE LA PRODUCCION DE BATERIAS DE MERCURIO.	RP14.1/06
		(C,T)	BATERIAS DE DESECHO DE LA PRODUCCION DE BATERIA DE PLOMO ACIDO.	RP14.1/07

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Tabla A1 Clasificación de residuos peligrosos por giro industrial y proceso (continuación).

No.de giro	Giro industrial y Proceso.	Clave Cretib	Residuo peligroso	No. Ine
15. QUIMICO FARMACEUTICA				
15.1	PRODUCCION FARMOQUIMICOS	DE (T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION QUE CONTENGAN SUBSTANCIAS TOXICAS AL AMBIENTE.	RP15.1/01
		(T)	CARBON ACTIVADO GASTADO QUE HAYA TENIDO CONTACTO CON PRODUCTOS QUE CONTENGAN SUBSTANCIAS TOXICAS AL AMBIENTE.	RP15.1/02
		(T)	MATERIALES FUERA DE ESPECIFICACION QUE CONTENGAN SUBSTANCIAS TOXICAS AL AMBIENTE.	RP15.1/03
15.2	ELABORACION DE MEDICAMENTOS.	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION Y MATERIALES CADUCOS O FUERA DE ESPECIFICACION QUE CONTENGAN SUBSTANCIAS TOXICAS AL AMBIENTE.	RP15.2/01
		(T)	CARBON ACTIVADO GASTADO QUE HAYA TENIDO CONTACTO CON PRODUCTOS QUE CONTENGAN SUBSTANCIAS TOXICAS AL AMBIENTE.	RP15.2/02
15.3	PRODUCCION DE BIOLOGICOS.	(B)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION, MATERIALES CADUCOS Y FUERA DE ESPECIFICACION.	RP15.3/01
		(T)	RESIDUOS DE PROCESOS QUE CONTENGAN SUBSTANCIAS TOXICAS AL AMBIENTE.	RP15.3/02
15.4	PRODUCCION HEMODERIVADOS.	DE (B)	MATERIALES FUERA DE ESPECIFICACIONES.	RP15.4/01
15.5	PRODUCCION DE PRODUCTOS VETERINARIOS DE COMPUESTOS DE ARSENICO U ORGANO-ARSENICALES.	(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.RP15.5/01	
		(T)	RESIDUOS DE DESTILACION (BREAS) DE COMPUESTOS A BASE DE ANILINA.	RP15.5/02
16. QUIMICA INORGANICA.				
16.1	PRODUCCION DE ACIDO FLUORHIDRICO.	DE (T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.	RP16.1/01
16.2	PRODUCCION DE CLORO (PROCESO DE CELDAS DE DIAFRAGMA USANDO ANODOS DE GRAFITO)	DE (T)	RESIDUOS DE HIDROCARBUROS CLORADOS DE LA ETAPA DE PURIFICACION.	RP16.2/01

Tabla A1 Clasificación de residuos peligrosos por giro industrial y proceso (continuación).

No.de giro	Giro Industrial y Proceso.	Clave Cretib	Residuo peligroso	No. Ine
16.3	PRODUCCION DE CLORO (PROCESO DE CELDAS DE MERCURIO)	(T)	LODOS DE LA PURIFICACION DE SALMUERA, DONDE LA SALMUERA PURIFICADA SEPARADA NO SE UTILIZA.	RP16.3/01
		(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	RP16.3/02
		(T)	CATALIZADOR AGOTADO DE CLORURO DE MERCURIO.	RP16.3/03
16.4	PRODUCCION DE FOSFORO.	(T)	LODOS DE TRATAMIENTO.	RP16.4/01
16.5	PRODUCCION DE PIGMENTOS DE CROMO Y DERIVADOS.	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION.	RP16.4/02
		(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE PIGMENTOS NARANJA Y AMARILLO DE CROMO.	RP16.5/01
		(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE PIGMENTOS VERDES DE CROMO.	RP16.5/02
		(T)	FILTRO AYUDA GASTADO (TORTAS DE FILTROS)	RP16.5/03
		(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE PIGMENTOS VERDES DE OXIDO DE CROMO (ANHIDROS E HIDRATADOS).	RP16.5/04
16.6	PRODUCCION DE OTROS PIGMENTOS INORGANICOS.	(T)	RESIDUOS DEL HORNO DE LA PRODUCCION DE PIGMENTOS VERDES DE OXIDO DE CROMO.	RP16.5/05
		(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE PIGMENTOS NARANJA DE MOLIBDATO.	RP16.6/01
		(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE PIGMENTOS AMARILLOS DE ZINC.	RP16.6/02
		(T)	LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE PIGMENTOS AZULES DE HIERRO.	RP16.6/03
17.	QUIMICA ORGANICA			
17.1	PRODUCCION DE ACETALDEHIDO A PARTIR DEL ETILENO.	(T)	FONDOS DE LA ETAPA DE DESTILACION.	RP17.1/01
		(T)	CORTES LATERALES EN LA ETAPA DE DESTILACION.	RP17.1/02
17.2	PRODUCCION DE ANHIDRIDO FTALICO A PARTIR DEL NAFTALENO.	(T)	PRODUCTOS TERMINALES LIGEROS DE LA DESTILACION.	RP17.2/01
		(T)	FONDOS DE LA DESTILACION.	RP17.2/02
17.3	PRODUCCION DE ANHIDRIDO FTALICO A PARTIR DE ORTOXILENO.	(T)	PRODUCTOS TERMINALES LIGEROS DE LA ETAPA DE DESTILACION.	RP17.3/01
		(T)	FONDOS DE LA ETAPA DE DESTILACION.	RP17.3/02

TESIS CON
 PALLA DE ORIGEN

Tabla A1 Clasificación de residuos peligrosos por giro industrial y proceso (continuación).

No.de giro	Giro industrial y Proceso.	Clave Cretib	Residuo peligroso	No. Ine
17.4	PRODUCCION DE ANHIDRIDO MALEICO.	(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION.	RP17.4/01
17.5	PRODUCCION DE ANILINA.	(T)	FONDOS DE DESTILACION.	RP17.5/01
		(T)	RESIDUOS DEL PROCESO DE EXTRACCION DEL PRODUCTO.	RP17.5/02
17.6	PRODUCCION DE CLOROBENCENOS.	(T)	FONDOS DE DESTILACION O DE LA COLUMNA FRACCIONADORA.	RP17.6/01
		(T)	CORRIENTES ACUOSAS DE LA ETAPA DEL LAVADO DEL REACTOR DE PRODUCTO.	RP17.6/02
17.7	PRODUCCION DE CLORURO DE BENCILO.	(T)	FONDOS DE LA ETAPA DE DESTILACION.	RP17.7/01
17.8	PRODUCCION DEL CLORURO DE ETILO.	(T)	FONDOS PESADOS DE LA COLUMNA FRACCIONADORA.	RP17.8/01
17.9	PRODUCCION DE DIBROMURO DE ETILENO VIA BROMACION DEL ETENO.	(T)	AGUAS RESIDUALES DEL LAVADOR DE GASES DEL VENTEO DEL REACTOR.	RP17.9/01
		(T)	ABSORBENTES SOLIDOS GASTADOS DE LA ETAPA DE PURIFICACION DEL PRODUCTO.	RP17.9/02
		(T)	FONDOS DE LA ETAPA DE PURIFICACION DEL PRODUCTO.	RP17.9/03
17.10	PRODUCCION DEL DICLOROETILENO.	(T)	FONDOS PESADOS DE LA ETAPA DE DESTILACION.	RP17.10/01
17.11	PRODUCCION DE DISOCIANATO DE TOLUENO.	(R,T)	RESIDUOS DE CENTRIFUGACION Y DESTILACION.	RP17.11/01
17.12	PRODUCCION DE DIISOCIANATO DE TOLUENO VIA FOSGENACION DE LA TOLUENDIAMINA.	(T)	CONDENSADOS ORGANICOS DE LA COLUMNA DE RECUPERACION DE SOLVENTES.	RP17.12/01
17.13	PRODUCCION DE 1,1-DIMETILHIDRACINA (DDAH) PARTIR DE HIDRAZINAS DE ACIDO CARBOXILICO.	(C,T)	FONDOS DE LA TORRE DE SEPARACION DE PRODUCTOS.	RP17.13/01
		(T,I)	CABEZAS CONDENSADAS DE LA COLUMNA DE SEPARACION DE PRODUCTO Y GASES CONDENSADOS DEL VENTEO DEL REACTOR.	RP17.13/02
		(T)	CARTUCHOS DE LOS FILTROS AGOTADOS DE LA PURIFICACION DEL PRODUCTO.	RP17.13/03
		(T)	CABEZAS CONDENSADAS DE LA COLUMNA DE SEPARACION DE INTERMEDIOS.	RP17.13/04
17.14	PRODUCCION DE DINITROTOLUENO VIA NITRACION DE TOLUENO.	(C,T)	AGUAS DE LAVADO DEL PRODUCTO.	RP17.14/01
17.15	PRODUCCION DE EPICLORHIDRINA	(T)	FONDOS PESADOS DE LA COLUMNA DE PURIFICACION.	RP17.15/01

Tabla A1 Clasificación de residuos peligrosos por giro industrial y proceso (continuación).

No.de giro	Giro industrial y Proceso.	Clave Cretib	Residuo peligroso	No. inc
17.16	PRODUCCION DE FENOL/ACETONA A PARTIR DEL CUMENO. .	(T)	FONDOS PESADOS (BREA) DE LA ETAPA DE DESTILACION.	RP17.16/01
17.17	PRODUCCION DE FLUOROMETANOS.	(T)	RESIDUO DE CATALIZADOR AGOTADO DE ANTIMONIO EN SOLUCION ACUOSA.	RP17.17/01
17.18	PRODUCCION DE ETIL METIL PIRIDINA	(T)	RESIDUOS DE LAS TORRES DE LAVADO DE GASES.	RP17.18/01
17.19	PRODUCCION DE NITROBENCENO/ ANILINA.	(T)	CORRIENTES COMBINADAS DE AGUAS RESIDUALES.	17.19/01
17.20	PRODUCCION DE NITROBENCENO	(T)	FONDOS DE LA DESTILACION.	17.20/01
	MEDIANTE LA NITRACION DEL BENCENO.	(T)	SUBPRODUCTOS Y RESIDUOS DEL REACTOR EN LA PRODUCCION DEL NITROBENCENO.	17.20/02
17.21	PRODUCCION DE TETRACLORURO DE CARBONO.	(T)	FONDOS PESADOS O PRODUCTOS RESIDUALES DE LA ETAPA DE DESTILACION.	RP17.21/01
17.22	PRODUCCION DE TOLUENDIAMINA VIA HIDROGENACION DE DINITROTOLUENO.	(T)	AGUA DE REACCION (SUBPRODUCTO) DE LA COLUMNA DE SECADO.	RP17.22/01
		(T)	PRODUCTOS LIQUIDOS TERMINALES LIGEROS CONDENSADOS DE LA ETAPA DE PURIFICACION DEL PRODUCTO.	RP17.22/02
		(T)	VECINALES DE LA ETAPA DE PURIFICACION DEL PRODUCTO.	RP17.22/03
		(T)	FONDOS PESADOS DE LA ETAPA DE PURIFICACION DEL PRODUCTO.	RP17.22/04
17.23	PRODUCCION DE 1,1,1-TRICLOROETANO.	(T)	CATALIZADORES AGOTADOS DEL REACTOR DE HIDROCLORACION.	RP17.23/01
		(T)	RESIDUOS DEL LAVADOR DE PRODUCTO.	RP17.23/02
		(T)	FONDOS DE LA ETAPA DE DESTILACION.	RP17.23/03
		(T)	FONDOS PESADOS DE LA COLUMNA DE PESADOS.	RP17.23/04
17.24	PRODUCCION COMBINADA DE TRICLOROETILENO Y PERCLOROETILENO.	(T)	FONDOS O RESIDUOS PESADOS DE LAS TORRES.	RP17.24/01

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Tabla A1 Clasificación de residuos peligrosos por giro industrial y proceso (continuación).

No.de giro	Giro industrial y Proceso.	Clave Cretlb	Residuo peligroso	No. Ine
18	TEXILES.			
18.1	PRODUCCION EN GENERAL.	(T)	TAMBOS Y CONTENEDORES CON RESIDUOS DE TINTES Y COLORANTES.	RP18.1/01
		(T)	LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	RP18.1/02
		(T)	AGENTES MORDIENTES GASTADOS RESIDUALES.	RP18.1/03
		(C,T)	RESIDUOS DE DETERGENTES, JABONES Y AGENTES DISPERSANTES.	RP18.1/04
		(C)	RESIDUOS ACIDOS O ALCALINOS.	RP18.1/05
		(C,T)	RESIDUOS PROVENIENTES DEL BANQUEADO.	RP18.1/06
		(T)	RESIDUOS DE ADHESIVOS Y POLIMEROS.	RP18.1/07
		(T)	RESIDUOS DE AGENTES ENLAZANTES Y DE CARBONIZACION.	RP18.1/08

Tabla A2 Clasificación de residuos por fuente no específica.

NO.DE FUENTE	CLAVE CRETIB	RESIDUO PELIGROSO	NO.INE
1		FUENTES DIVERSAS Y NO ESPECIFICAS.	
1.1		FUENTES NO ESPECIFICAS.	
	(T)	ENVASES Y TAMBOS VACIOS USADOS EN EL MANEJO DE MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS.	RPNE1.1/01
	(T)	LODOS DE DESECHO DEL TRATAMIENTO BIOLOGICO DE AGUAS RESIDUALES QUE CONTENGA CUALQUIER SUBSTANCIA TOXICA AL AMBIENTE EN CONCENTRACIONES MAYORES A LOS LIMITES SEÑALADOS EN EL ARTICULO 5.5 DE ESTA NORMA.	RPNE1.1/02
	(T,I)	ACEITES LUBRICANTES GASTADOS.	RPNE1.1/03
	(T)	RESIDUOS DE BIFENILOS POLICLORADOS O DE CUALQUIER OTRO MATERIAL QUE LOS CONTENGA EN CONCENTRACION MAYOR DE 50 PPM.	RPNE1.1/04
	(T)	RESIDUOS DE EL MANEJO DE LA FIBRA DE ASBESTO PURO, INCLUYENDO POLVO, FIBRAS Y PRODUCTOS FACILMENTE DESMENUZABLES CON LA PRESION DE LA MANO (TODOS LOS RESIDUOS QUE CONTENGAN ASBESTO EL CUAL NO ESTE SUMERGIDO O FIJO EN UN AGLUTINANTE NATURAL O ARTIFICIAL).	RPNE1.1/05
	(T)	TODAS LAS BOLSAS QUE HAYAN TENIDO CONTACTO CON LA FIBRA DE ASBESTO, ASI COMO LOS MATERIALES FILTRANTES PROVENIENTES DE LOS EQUIPOS DE CONTROL COMO SON: LOS FILTROS, MANGAS, RESPIRADORES PERSONALES Y OTROS; QUE NO HAYAN RECIBIDO UN TRATAMIENTO PARA ATRAPAR LA FIBRA EN UN AGLUTINANTE NATURAL O ARTIFICIAL.	RPNE1.1/06
	(T)	TODOS LOS RESIDUOS PROVENIENTES DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA CUYA MATERIA PRIMA SEA EL ASBESTO Y LA FIBRA SE ENCUENTRE EN FORMA LIBRE, POLVO O FACILMENTE DESMENUZABLE CON LA PRESION DE LA MANO.	RPNE1.1/07

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Tabla A2 Clasificación de residuos por fuente no específica (continuación).

NO.DE FUENTE	CLAVE CRETIB	RESIDUO PELIGROSO	NO.INE
	(T)	LOS SIGUIENTES SOLVENTES HALOGENADOS GASTADOS EN OPERACIONES DE DESENGRASADO: TETRACLOROETILENO, TRICLOROETILENO, CLORURO DE METILENO, 1,1,1-TRICLOROETANO, TETRACLORURO DE CARBONO, FLUOROCARBONOS CLORADOS Y LOS SEDIMENTOS O COLAS DE LA RECUPERACION DE ESTOS SOLVENTES Y MEZCLAS DE SOLVENTES GASTADOS.	RPNE1.1/08
	(T)	LOS SIGUIENTES SOLVENTES HALOGENADOS GASTADOS USADOS EN OTRAS OPERACIONES QUE NO SEA EL DESENGRASADO: TETRACLOROETILENO, CLORURO DE METILENO, TRICLOROETILENO, 1,1,1-TRICLOROETANO, CLOROBENCENO, 1,1,2-TRICLORO-1,2,2-TRIFLUORETANO, O-DICLOROBENCENO, TRICLOROFLUOROMETANO Y 1,1,2-TRICLOROETANO; Y LOS SEDIMENTOS O COLAS DE LA RECUPERACION DE ESTOS SOLVENTES Y MEZCLAS DE SOLVENTES GASTADOS.	RPNE1.1/09
	(T,I)	LOS SIGUIENTES SOLVENTES GASTADOS NO HALOGENADOS: XILENO, ACETONA, ACETATO DE ETILO, ETILBENCENO, ÉTER ETILICO, ISOBUTIL METIL CETONA, ALCOHOL N-BUTILICO, CICLOHEXANONA Y METANOL; Y LOS SEDIMENTOS O COLAS DE LA RECUPERACION DE ESTOS SOLVENTES Y MEZCLAS DE SOLVENTES GASTADOS.	RPNE1.1/10
	(I,T)	LOS SIGUIENTES SOLVENTES GASTADOS NO HALOGENADOS: TOLUENO, ETIL METIL CETONA, DISULFURO DE CARBONO, ISOBUTANOL, PIRIDINA, BENCENO, 2-ETOXIETANOL, 2-NITROPROPANO Y LOS SEDIMENTOS DE LA RECUPERACION DE ESTOS SOLVENTES Y MEZCLAS DE SOLVENTES GASTADOS.	RPNE1.1/11
	(E,T)	LOS SIGUIENTES SOLVENTES GASTADOS NO HALOGENADOS: CRESOLES, ACIDO CRESILICO, NITROBENCENO Y LOS SEDIMENTOS DE LA RECUPERACION DE ESTOS SOLVENTES Y MEZCLAS DE SOLVENTES GASTADOS.	RPNE1.1/12

Tabla A2 Clasificación de residuos por fuente no específica (continuación).

NO.DE FUENTE	CLAVE CRETIB	RESIDUO PELIGROSO	NO.INE
	(T)	RESIDUOS DEL TRI-TETRA-, O PENTAFLUOROFENOL PROVENIENTES DE SU PRODUCCION O DE SU USO COMO REACTANTE, PRODUCTO INTERMEDIO O COMPONENTE DE UNA FORMULACION.	RPNE1.1/13
	(T)	RESIDUOS DE TETRA-PENTA-, O HEXAFLUOROBENCENO PROVENIENTES DE SU USO COMO REACTANTE, PRODUCTO INTERMEDIO O COMPONENTE DE UNA FORMULACION, BAJO CONDICIONES ALCALINAS.	RPNE1.1/14
1.2 RESIDUOS PROVENIENTES DE HOSPITALES, LABORATORIOS Y CONSULTORIOS MEDICOS.	(B)	RESIDUOS DE SANGRE HUMANA.	RPNE1.2/01
	(B)	RESIDUO DE CULTIVO Y CEPAS DE AGENTES INFECCIOSOS.	RPNE1.2/02
	(B)	RESIDUOS PATOLOGICOS.	RPNE1.2/03
	(B)	RESIDUOS NO ANATOMICOS DE UNIDADES DE PACIENTES.	RPNE1.2/04
	(B)	RESIDUOS DE OBJETOS PUNZOCORTANTES USADOS.	RPNE1.2/05
	(B)	RESIDUOS INFECCIOSOS MISCELANEOS COMO: MATERIALES DE CURACION Y ALIMENTOS DE ENFERMOS CONTAGIOSOS.	RPNE1.2/06

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Tabla A3 Clasificación de residuos de materias primas que se consideran peligrosas en la producción de pinturas.

No.DE GIRO	MATERIA PRIMA	CLAVE CRETIB	RESIDUO PELIGROSO	No.INE
1 ACEITES MINERALES, ACIDOS, MONOMEROS Y ANHIDRIDOS.				
1.1	PRODUCCION EN GENERAL.	(T)	ACEITES AROMATICOS	RPP1.1/01
		(T)	ACEITES NAFTENICOS	RPP1.1/02
		(T,I)	ACIDO ACETICO	RPP1.1/03
		(T,I)	ACIDO CLORHIDRICO	RPP1.1/04
		(I)	ACIDO FUMARICO	RPP1.1/05
		(I)	ACIDO ISOFTALICO	RPP1.1/06
		(I)	ACIDO ISONONANOICO	RPP1.1/07
		(T)	ACIDO OXALICO	RPP1.1/08
		(I)	ANHIDRIDO FTALICO	RPP1.1/09
		(I)	ANHIDRIDO MALEICO	RPP1.1/10
		(I)	ANHIDRIDO TRIMETILICO	RPP1.1/11
		(I)	MONOMERO DE ACRILATO DE ETILO	RPP1.1/12
		(T)	MONOMERO DE METACRILATO DE ETILO	RPP1.1/13
(I)	MONOMERO DE METACRILATO DE ISOBUTILO	RPP1.1/14		
2 PEROXIDOS PLASTIFICANTES POLIOLES Y VARIOS				
2.1	PRODUCCION EN GENERAL	(T)	HIDROXIDO DE AMONIO	RPP2.1/01
		(T)	PEROXIDO DE LAURILO	RPP2.1/02
		(T)	FTALATO DE BUTIL BENCILO	RPP2.1/03
		(I)	PENTAERI TRITOL	RPP2.1/04
		(I)	PROPILENI GLICOL	RPP2.1/05
		(I)	TRIMETILOL ETANO	RPP2.1/06
		(I)	TRIMETILOL PROPANO	RPP2.1/07
		(T,I)	FORMALDEHIDO	RPP2.1/08
		(R)	PARAFORMAL DEHIDO	RPP2.1/09
		(R)	SILICATO DE ETILO	RPP2.1/10
3 PIGMENTOS				
3.1	PRODUCCION EN GENERAL	(T)	AMARILLO NAFTOL	RPP3.1/01
		(T)	AZUL FTALOCIANINA	RPP3.1/02
		(T)	AZUL VICTORIA COLORANTE	RPP3.1/03
		(T)	NARANJA 29-19 PIRAZOLONA	RPP3.1/04
		(T)	VIOLETA DE CARBAZOL	RPP3.1/05
		(T)	AMARILLO CROMO	RPP3.1/06
		(T)	ROJO MOLIBDATO	RPP3.1/07
		(T)	NARANJA CROMO 25	RPP3.1/08
		(T)	NARANJA MOLIBDATO	RPP3.1/09
		4 RESINAS		
4.1	DISPERSIONES Y MICRODISPERSIONES EN AGUA	(T)	RESINA DE TOLUEN DIISOCIANATO	RPP4.1/01

Tabla A3 Clasificación de residuos de materias primas que se consideran peligrosas en la producción de pinturas (continuación).

No.DE GIRO	MATERIA PRIMA	CLAVE CRETIB	RESIDUO PELIGROSO	No.INE
4.2	SINTETICAS EN SOLUCION DE SOLVENTES	(I)	ALQUIDALICAS DE ACEITE LARGA	RPP4.2/01
		(T,I)	ALQUIDALICAS DE ACEITE MEDIO	RPP4.2/02
		(T)	EPOXICAS	RPP4.2/03
		(I)	FENOLICAS EN SOLUCION	RPP4.2/04
		(I)	FUMARICAS	RPP4.2/05
		(T)	HEMATOXI METIL MELAMINA	RPP4.2/06
		(T)	MALEICAS	RPP4.2/07
		(T)	POLIESTER	RPP4.2/08
		(R)	SILICON ALQUIDAL	RPP4.2/09
		(R)	SILICONES	RPP4.2/10
		(T)	URETANOS	RPP4.2/11
		4.3	SÓLIDAS	(R)
4.4	SINTETICAS	(R)	POLIAMIDA	RPP4.4/01
		(T)	POLIESTERES	RPP4.4/02
		(T,I)	FENOLICAS MODIFICADAS Y EN SOLUCION	RPP4.4/03
5	SOLVENTES			
5.1	PRODUCCION EN GENERAL	(I)	ACETATO DE BUTIL CARBITOL	RPP5.1/01
		(I)	ACETATO DE BUTIL CELLOSOLVE	RPP5.1/02
		(I)	ACETATO DE CARBITOL	RPP5.1/03
		(I)	ACETATO DE CELLOSOLVE	RPP5.1/04
		(I)	ACETATO DE METIL CELLOSOLVE	RPP5.1/05
		(I)	ACETONA	RPP5.1/06
		(I)	ALCOHOL DIACETONA	RPP5.1/07
		(I)	ALCOHOL ETILICO	RPP5.1/08
		(I)	ALCOHOL ISOBUTILICO	RPP5.1/09
		(I)	ALCOHOL POLIVINILICO	RPP5.1/10
		(I)	AROMINA 100	RPP5.1/11
		(I)	AROMINA 150	RPP5.1/12
		(I)	BUTANOL	RPP5.1/13
		(I)	CICLOHEXANONA	RPP5.1/14
		(T)	CLORURO DE METILENO	RPP5.1/15
		(I)	ETER METILICO DEL ETILEN GLICOL	RPP5.1/16
		(I)	ETER MONOBUTILICO DEL DIETILENGLICOL	RPP5.1/17
		(T,I)	ETER MONOETILICO DEL ETILENGLICOL	RPP5.1/18
		(T,I)	ETER MONOPROPILICO DEL ETILENGLICOL	RPP5.1/19
		(I)	2-ETIL-HEXILALCOHOL	RPP5.1/20
		(I)	GAS NAFTA	RPP5.1/21
		(I)	GAS SOLVENTE	RPP5.1/22
		(T,I)	ISOFORONA	RPP5.1/23
(T,I)	METIL ISOBUTILCETONA	RPP5.1/24		
(I)	2-NITROPROPANO	RPP5.1/25		
(I)	VMP NAFTA	RPP5.1/26		
(I)	HEPTANO	RPP5.1/27		
(I)	HEXANO	RPP5.1/28		
(I)	ISOPROPANOL	RPP5.1/29		
(I)	METANOL	RPP5.1/30		

FALTA DE ORIGEN
 TESIS CON

Tabla A4 Clasificación de residuos y bolsas o envases de materias primas que se consideran peligrosas en la producción de pinturas.

NO. DE GIRO	RESIDUOS DE MATERIAS PRIMAS Y BOLSAS O ENVASES	CLAVE CRETIB	RESIDUO PELIGROSO	No. INE
1 ACIDOS, ANHIDRIDOS MONOMEROS Y PEROXIDOS				
1.1	PRODUCCION GENERAL	(I)	ACIDO ACRILICO	RPE1.1/01
		(I)	ACIDO AZELAICO	RPE1.1/02
		(I)	ACIDO DIMETILPROPIONICO	RPE1.1/03
		(I)	ACIDO ETIL 2-HEXOICO	RPE1.1/04
		(I)	ACIDO PARATOLUEN SULFONICO	RPE1.1/05
		(I)	ACIDO SEBASICO	RPE1.1/06
		(T,I)	ACIDO SULFONICO AROMATICO	RPE1.1/07
		(T)	ACIDO SULFURICO	RPE1.1/08
		(I)	ACIDO TEREFTALICO	RPE1.1/09
		(I)	ANHIDRIDO METACRILICO	RPE1.1/10
		(I)	ANHIDRIDO SUCCINICO	RPE1.1/11
		(I)	ACETATO DE VINILO	RPE1.1/12
		(I)	ACRILATO DE BUTILO	RPE1.1/13
		(I)	ACRILATO DE METILO	RPE1.1/14
		(I)	ESTIRENO	RPE1.1/15
		(I)	METACRILATO DE BUTILO	RPE1.1/16
		(I)	METACRILATO DE METILO	RPE1.1/17
		(T)	HIDROPEROXIDO DE CUMENO	RPE1.1/18
		(T)	PEROXIDO DE AZO-	RPE1.1/19
			DISISOBUTIRONITRILIO	
		(I,R)	PEROXIDODE BENZOILO	RPE1.1/20
		(I,R)	PEROXIDO DE CICLOHEXANONA	RPE1.1/21
		(T)	PEROXIDO DE DITERBUTILO	RPE1.1/22
		(T,R)	PEROXIDO DE METIL ETILCETONA	RPE1.1/23
		(T,R)	PEROXIDO DE TERBUTIL	RPE1.1/24
			PERBENZOATO	
		(T,R)	PEROXI-2-ETIL HEXANOATO	RPE1.1/25
			DETERBUTILO	
2 SECANTES, PIGMENTOS Y VARIOS				
2.1	PRODUCCION GENERAL	EN	NAFTENATO DE COBALTO	RPE2.1/01
		(T)	NAFTENATO DE PLOMO	RPE2.1/02
		(T,I)	ALCANOATO DE COBALTO	RPE2.1/03
		(T)	ALCANOATO DE PLOMO	RPE2.1/04
		(T,I)	NEODECANATO DE COBALTO	RPE2.1/05
		(T)	NEODECANATO DE PLOMO	RPE2.1/06
		(T,I)	OCTOATO DE COBALTO	RPE2.1/07
		(T)	OCTOATO DE PLOMO	RPE2.1/08
		(T)	ALBAYALDE	RPE2.1/09
		(T)	AMONIACO	RPE2.1/10
		(T)	ANTIESPUMANTE ORGANICO	RPE2.1/11
			FOAMICIDE B-18	
		(T)	DIBUTILAMINA	RPE2.1/12
		(T,I)	DIETILENGLICOL	RPE2.1/13
		(T,I)	DIETILENTRIAMINA	RPE2.1/14
		(T,I)	TIMETIL ETIL AMINA	RPE2.1/15
		(T,I)	ETIL METIL CETOXIMA	RPE2.1/16

Tabla A4 Clasificación de residuos y bolsas o envases de materias primas que se consideran peligrosas en la producción de pinturas (continuación).

NO. DE GIRO	RESIDUOS DE MATERIAS PRIMAS Y BOLSAS O ENVASES	CLAVE CRETIB	RESIDUO PELIGROSO	No. INE
		(T)	HIDROQUINONA	RPE2.1/17
		(R)	HIDROXIDO DE SODIO	RPE2.1/18
		(T)	LITARGIRO	RPE2.1/19
		(T)	MINIO	RPE2.1/20
		(R)	NITRITO DE SODIO	RPE2.1/21
		(T)	OXIDO DE MERCURIO	RPE2.1/22
		(T)	OXIMAS	RPE2.1/23
		(T)	PLOMO	RPE2.1/24
		(T)	SALES DE MERCURIO (BIOCIDA-FUNGICIDA) POLACIDA	RPE2.1/25
		(T,I)	TRIETILAMINA	RPE2.1/26
		(T,I)	TRIETILENTE TRAAMINA	RPE2.1/27
		(T)	TRIFENILFOSFITO	RPE2.1/28
		(T)	SULFATO DE PLOMO	RPE2.1/29
		(T)	AMARILLO CADMIO	RPE2.1/30
		(T)	AMARILLO URAMINA	RPE2.1/31
		(T)	NARANJA BENCIDINA	RPE2.1/32
		(T)	ROJO CADMIO	RPE2.1/33
		(T)	VERDE CROMO 25	RPE2.1/34
3	RESINAS			
3.1	SINTETICAS EN SOLUCION DE SOLVENTES	(T,I)	ACRILICAS EN SOLUCION	RPE3.1/01
		(T,I)	ALQUIDALICAS DE ACEITE CORTA	RPE3.1/02
		(I)	FENOL-FORMALDEHIDO	RPE3.1/03
		(I)	FORMALDEHIDO TIPO TRIACINA	RPE3.1/04
		(T,R)	ISOCIANATOS	RPE3.1/05
		(Y)	MELAMINA FORMALDEHIDO	RPE3.1/06
		(Y)	UREA FORMALDEHIDO	RPE3.1/07
4	SOLVENTES			
4.1	PRODUCCION GENERAL	EN		
		(I)	ACETATO DE AMILO	RPE4.1/01
		(I)	ACETATO DE BUTILO	RPE4.1/02
		(I)	ACETATO DE ETILO	RPE4.1/03
		(I)	ACETATO DE ISOAMILO	RPE4.1/04
		(I)	ACETATO DE ISOPROPILO	RPE4.1/05
		(I)	ACETATO DE METILO	RPE4.1/06
		(I)	AGUARRAS	RPE4.1/07
		(T,I)	BUTIL CELLOSOLVE	RPE4.1/08
		(I)	CICLOHEXANO	RPE4.1/09
		(I)	DIETIL CETONA	RPE4.1/10
		(I)	ETER METILICO DEL PROPILLEN GLICOL	RPE4.1/11
		(I)	GASOLINA INCOLORA	RPE4.1/12
		(I)	METIL ETIL CETONA	RPE4.1/13
		(T,I)	METIL ISOAMIL CETONA	RPE4.1/14
		(T,I)	METIL ISOBUTIL CARBINOL	RPE4.1/15
		(T,I)	TOLUENO	RPE4.1/16
		(T,I)	XILENO	RPE4.1/17

FALLA DE ORIGEN
TESIS CON

Tabla A-4 Clasificación de residuos y bolsas o envases de materias primas que se consideran peligrosas en la producción de pinturas (continuación).

NO. DE GIRO	RESIDUOS DE MATERIAS PRIMAS Y BOLSAS O ENVASES
5	<i>RESIDUOS DE MATERIAS PRIMAS EN LA PRODUCCION.</i>
6	<i>RESIDUOS DEL LAVADO CON SOLVENTES.</i>
7	<i>LODOS DE DESTILACION DE SOLVENTES.</i>
8	<i>RESIDUOS DEL EQUIPO ANTICONTAMINANTE.</i>
9	<i>LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.</i>
10	<i>LODOS DE LIMPIEZA DE GASES EN EQUIPO DE CONTROL.</i>

Apéndice
Sección B

Método de Solución de Paredes Compuestas Rectangulares.

El método de solución de paredes compuestas rectangulares consiste en encontrar las temperaturas de interfase y exterior de la pared compuesta rectangular de que se trate, tomando en cuenta la variación de las conductividades térmicas de los materiales con respecto a la temperatura, siguiendo la secuencia de cálculo que a continuación se indica:

1. Suponer una temperatura exterior ($T_{\text{ext sup}}$).
2. Hacer una estimación de conductividades térmicas.
3. Evaluar la transferencia de calor por convección – radiación ($q_{\text{conv-rad}}$).
4. Igualar la transferencia de calor por convección – radiación con la transferencia de calor por conducción, $q_{\text{cond}} = q_{\text{conv-rad}}$.
5. Encontrar las temperaturas de interfase, utilizando la ecuación de Fourier.
6. Calcular una temperatura promedio para cada material, utilizando las temperaturas de interfase.
7. Evaluar las conductividades térmicas de cada material a su respectiva temperatura promedio.
8. Evaluar la transferencia de calor por conducción para la pared compuesta.
9. Igualar la transferencia de calor por conducción con la transferencia de calor por convección – radiación y evaluar una temperatura exterior que satisfaga la ecuación resultante mediante prueba y error.
10. Si la diferencia entre la temperatura exterior calculada y la temperatura exterior supuesta es menor al criterio de paro elegido¹⁸, el cálculo termina y pueden tomarse como válidos los valores que se obtuvieron en la última iteración para q_{cond} y las temperaturas de interfase o pueden recalcularse para obtener una mayor exactitud. En caso contrario, regresar al paso número 4 y evaluar una nueva iteración.

¹⁸ 0.1° F puede ser considerado como un buen criterio de paro.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para estimar la máxima temperatura en la pared exterior del incinerador crematorio se cuenta con los siguientes datos:

Temperatura interior (T_{int})	904.44 °C (1659.99 °F)
Temperatura ambiente (T_{amb})	20 °C (68 °F)

Espesores de materiales desde dentro del incinerador crematorio hacia fuera:

Material A (U-CAST-60M)	$L_A = 3''$
Material B (Almex 55)	$L_B = 9''$
Material C (Lámina CR)	$L_C = 0.1046''$

Conductividades Térmicas en función de la temperatura T:

Material A	$k_A = 0.659567 - 2.16 E-05 T [=] \text{ BTU/ h pie } ^\circ\text{F}$
Material B	$k_B = 0.119675 + 3.25 E-05 T [=] \text{ BTU/ h pie } ^\circ\text{F}$
Material C	$k_C = 9.4167 \text{ BTU/ h pie } ^\circ\text{F}$

Siguiendo la secuencia de cálculo anterior se tiene que:

1. $T_{ext\ sup} = 30\ ^\circ\text{C} (86\ ^\circ\text{F})$

2. Evaluación de conductividades térmicas:

$k_A @ 1659.99\ ^\circ\text{F} = 0.6237 \text{ BTU/ h pie } ^\circ\text{F}$

$k_B @ 1873\ ^\circ\text{F}^{19} = 0.1480 \text{ BTU/ h pie } ^\circ\text{F}$

$k_C^{20} = 9.4167 \text{ BTU/ h pie } ^\circ\text{F}$

3. Para evaluar la transferencia de calor por convección - radiación se utilizarán las siguientes expresiones [19]:

$$h_{conv} = 0.3(T_{ext\ sup} - T_{amb})^{2.5} \quad (A1)$$

$$h_{rad} = \frac{Fr * [(T_{ext\ sup} + 459.6_{amb}) - (T_{amb} + 459.6_{amb})^4]}{T_{ext\ sup} - T_{amb}} \quad (A2)$$

$$Fr = 0.1713E - 08 * \epsilon \quad (A3)$$

$$q_{conv-rad} = (h_{conv} + h_{rad}) * (T_{ext\ sup} - T_{amb}) \quad (A4)$$

donde:

h_{conv} = coeficiente de convección para una superficie vertical de más de 3 pies de alto [=] BTU/ h pie² °F

h_{rad} = coeficiente de radiación [=] BTU/ h pie² °F

¹⁹ Temperatura promedio entre las temperaturas interior y la exterior supuesta.

²⁰ En este caso la conductividad térmica del material C es una constante. De contar con una expresión en función de la temperatura, debe evaluarse a la temperatura exterior supuesta.

Fr = factor de radiación.

ϵ = emisividad del material interior, en este caso 0.85 [19].

Sustituyendo los valores respectivos en las ecuaciones A1 a A4, se obtienen los siguientes resultados:

$$h_{\text{conv}} = 0.6179 \text{ BTU/h pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$h_{\text{rad}} = 0.9022 \text{ BTU/h pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$Fr = 0.1456$$

$$q_{\text{conv-rad}} = 27.3615 \text{ BTU/h pie}^2$$

4. $q_{\text{cond}} = q_{\text{conv-rad}}$, por lo tanto $q_{\text{cond}} = 27.3615 \text{ BTU/h pie}^2$

5. Para encontrar las temperaturas de interfase, utilizando la ecuación de Fourier se tiene que:

$$q_{\text{cond}} = \frac{T_{\text{int}} - T_{AB}}{\frac{L_A}{k_A}} = \frac{T_{AB} - T_{BC}}{\frac{L_B}{k_B}} \quad (\text{A5})$$

Despejando, las temperaturas de interfase se calculan con:

$$T_{AB} = T_{\text{int}} - q_{\text{cond}} \cdot \frac{L_A}{k_A} \quad (\text{A6})$$

$$T_{BC} = T_{AB} - q_{\text{cond}} \cdot \frac{L_B}{k_B} \quad (\text{A7})$$

Sustituyendo los valores correspondientes en las ecuaciones A6 y A7, se obtiene que:

$$T_{AB} = 1649 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_{BC} = 1510.4 \text{ } ^\circ\text{F}$$

6. La temperatura promedio para cada material, utilizando las temperaturas de interfase son:

$$T_A = 1654.5 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_B = 1579.7 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_C = 798.2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

7. Las conductividades térmicas de cada material a su respectiva temperatura promedio serían:

$$k_A @ 1654.5 \text{ } ^\circ\text{F} = 0.6238 \text{ BTU/h pie } ^\circ\text{F}$$

$$k_B @ 1579.7 \text{ } ^\circ\text{F} = 0.1710 \text{ BTU/h pie } ^\circ\text{F}$$

$$k_C = 9.4167 \text{ BTU/h pie } ^\circ\text{F}$$

TESIS
FALLA DE ORIGEN

8. La evaluación de la transferencia de calor por conducción para la pared compuesta se obtiene con la ecuación:

$$q_{cond} = \frac{T_{int} - T_{ext}}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{k_i}} \quad (A8)$$

Para el caso de tres materiales el desarrollo de la ecuación queda como sigue:

$$q_{cond} = \frac{T_{int} - T_{ext}}{\frac{L_A}{k_A} + \frac{L_B}{k_B} + \frac{L_C}{k_C}} \quad (A9)$$

Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación A9, se obtiene que $q_{cond} = 328.6724 \text{ BTU/h pie}^2$.

9. Como $q_{cond} = q_{conv-rad}$, se tiene que:

$$328.6724 = (h_{conv} + h_{rad}) * (T_{ext sup} - T_{amb}) \quad (A10)$$

La temperatura exterior que satisface la ecuación A10, encontrada mediante prueba y error es de 210.45 °F.

10. La diferencia entre la temperatura exterior calculada (210.45 °F) y la temperatura exterior supuesta (86 °F) no es menor al criterio de paro elegido (0.1 °F) por lo que se debe realizar una nueva iteración, a partir del paso 4.

En la tabla A5 se presentan los resultados de las iteraciones realizadas. Como puede observarse, la temperatura exterior finalmente puede estimarse de 88.06 °C (190.12 °F) y las de interfase de 844.74 °C (1552.5 °F) y 88.19 °C (190.8°F).

Tabla A5. Resultados de las Iteraciones realizadas para estimar las temperaturas exterior y de interfase utilizando el método de solución de paredes compuestas rectangulares.

$T_{\text{ext sup}}$ °F	h_{conv} BTU/h pie ² °F	h_{rad} BTU/h pie ² °F	$q_{\text{conv-rad}}$ BTU/h pie ²	T_{AB} °F	T_{BC} °F	T_{A} °F	T_{B} °F	T_{C} °F	k_{A} BTU/h pie °F	k_{B} BTU/h pie °F	k_{C} BTU/h pie °F	q_{cond} BTU/h pie ²	$T_{\text{ext calc}}$ °F	$ T_{\text{calc}} - T_{\text{sup}} $ °F
86.00	0.6179	0.9022	27.3613	1649.0	1510.4	1654.5	1597.7	798.2	0.6238	0.1710	9.4167	328.6724	210.45	124.45
210.45	1.0364	1.2709	328.6721	1528.3	86.3	1594.1	807.3	148.4	0.6251	0.1459	9.4167	261.5499	187.59	22.86
187.58	0.9921	1.1950	261.5498	1555.4	210.7	1607.7	883.0	199.1	0.6248	0.1483	9.4167	269.8151	190.50	2.91
190.50	0.9981	1.2045	269.8149	1552.0	187.8	1606.0	869.9	189.2	0.6249	0.1479	9.4167	268.5666	190.06	0.4382
190.06	0.9972	1.2031	268.5664	1552.5	190.8	1606.3	871.6	190.4	0.6249	0.1479	9.4167	268.7399	190.12	0.0609
190.12	0.9973	1.2033	268.7397	1552.5	190.3	1606.2	871.4	190.2	0.6249	0.1480	9.4167	268.7149	-	-

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

*Bibliografía*No. de
Referencia

- [1] Incinerator Institute of America; "I.I.A. Incinerator Standards"; (1966).
- [2] Eclipse Combustion Engineering Manual.
- [3] NOM-087-ECOL-1995; "Que establece los Requisitos para la Separación, Envasado, Almacenamiento, Recolección, Transporte, Tratamiento y Disposición Final de los Residuos Peligrosos Biológico-Infeciosos que se generan en Establecimientos que presten Atención Médica".
- [4] Brunner, Calvin R.; "Incineration Systems: Selection & Design"; Van Nostrand Reinhold, U.S.A., p.p. 163-185; 1984.
- [5] U.S. Environmental Protection Agency; "Air Pollution Engineering Manual"; 2a. Ed.
- [6] NOM-043-ECOL-1993; "Que establece los Niveles Máximos Permisibles de Emisión a la Atmósfera de Partículas Sólidas Provenientes de Fuentes Fijas".
- [7] NOM-085-ECOL-1994; "Para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión".
- [8] NOM-052-ECOL-1993; "Que establece las Características de los Residuos Peligrosos, el Listado de los mismos y los Límites que hacen a un Residuo Peligroso por su Toxicidad al Ambiente".
- [9] PROY-NOM-098-ECOL-2000; "Protección Ambiental-Incineración de Residuos, Especificaciones de Operación y Límites de Emisión de Contaminantes".
- [10] Composición de los Huesos;
(<http://www.zonamedica.com.ar/categorias/medicinaiustrada/ostecoporosis/composicion.htm>) . México, 16/02/02, 10:12

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

No. de
Referencia

- [11] Composición Elemental del Cuerpo Humano; (http://cytoplan.co.uk/our_approach/elemental_composition.htm) , México, 16/02/02, 12:48
- [12] Composición Química de los Huesos; (<http://www.aldeaceducativa.com/aldea/tareas2.asp?which=1285#> Composición%20Química%20de%20los%20Huesos), México, 16/02/02, 17:24
- [13] Elemental composition of the Human Body; (http://www.ncosoft.com/Cuthman/elements_of_body.html), U.S.A., 17/02/02, 18:40
- [14] Re: what is the elemental composition of the human body?; (<http://www.madsci.org/posts/archives/jun2000/962225341.Bc.r.html>), U.S.A., 17/02/02, 20:10
- [15] Wilfrid Francis; "Los Combustibles y su Tecnología"; Ediciones URMO, España, 1969, 688 p.p.
- [16] Niessen, Walter R.; "Combustion & Incineration Processes. Applications in Environmental Engineering"; Marcel Dekker, Inc., U.S.A., 1978, 363 p.p.
- [17] Reynolds, J., et al; "Hazardous Waste Incineration Calculations"; John Wiley and Sons, U.S.A., 1991, p.p.80-98.
- [18] Reid, Robert; Prausnitz, John; Poling, Bruce. "The Properties of Gases and Liquids"; 4ª Ed., McGraw - Hill, U.S.A., 1987, 741 p.p.
- [19] American Gas Association; "Gas Engineers Handbook"; The Industrial Press; New York, (1966).
- [20] Altamirano, René "Apuntes Sobre Derecho Ambiental", Teorema Técnico Ambiental, año 1, No. 4, Marzo /Junio 1995, p.p.. 48-50.
- [21] Austin, George T.; "Manual de Procesos Químicos en la Industria"; Tomo I, McGraw Hill, México, p.p. 41-43; 1990.
- [22] Baumister, Theodore et al; "MARKS, Manual del Ingeniero Mecánico", 8va. Ed (2ª en español), McGraw Hill, México, 1992.
- [23] Campbell Charles E.; "Incineration: Tested and True"; Chemical Engineering, Mayo 8, p.p. 142-145, (1997).

No. de
Referencia

- [24] Dunn, Kenneth; "Is Incineration the Best Method of Dealing with Waste?"; Process Engineering; Febrero 1975, p.p.103-105.
- [25] Enriquez, Gilberto H.; "El ABC de las Instalaciones de Gas, Hidráulicas y sanitarias"; Noriega Editores, México, 2000, 244 p.p.
- [26] Danielson, John A.; "Air Pollution Engineering Manual", 2ª Ed., U. S. Environmental Protection Agency, U.S.A., p.p.437-531; 1973.
- [27] Greenberg, Joseph H.; "Industrial Thermal Processing Equipment Handbook"; ASM International, U.S.A., 259 p.p.; 1994.
- [28] Glasser, H., et al. "An Analysis of Biomedical Waste Incineration"; Journal of the Air and Waste Management Association, Mayo 8, p.p. 1180-1188, (1991).
- [29] Glassman, I.; "Combustion"; 3ª Ed., Academic Press, U.S.A., 1996, 275 p.p.
- [30] Himmelblau, M. D.; "Balances de Materia y Energía";. 4ª Ed., Prentice Hall Hispanoamericana, México, 1988, 660 p.
- [31] Ibarra, Joel; Lagos, Cuauhtémoc; Martínez, Antonio; Análisis y Selección de Técnicas de Control de Emisiones Contaminantes Generadas en Procesos de Combustión. Tesis Mancomunada Licenciatura (I. Q.) FES Zaragoza, UNAM, México, 1996.
- [32] Incropera, Frank P. & De Witt, David P.; "Fundamentals of Heat and Mass Transfer"; 4ª Ed., John Wiley and Sons, U.S.A., 1996, 886 p.p.
- [33] Industrial Heating Equipment Association; "Combustion Technology Manual" 5ª Ed., Combustion Division; U.S.A., (1994).
- [34] Kern, Donald Q.; "Procesos de Transferencia de Calor"; Compañía Editorial Continental S.A., México, 1995, 980 p.p.
- [35] Kirk, Raymond E., Othmer, Donald F., "Encyclopedia of chemical technology" 3ª Ed., John Wiley and Sons, U.S.A., 1984, Vol.11 y 13.
- [36] Kreith, Frank P.; "Principios de Transferencia de Calor"; Herrere Hermanos Sucesores S.A., México, 1970, 672 p.p.
- [37] Kyle, B. G.; "Chemical and Process Thermodynamics"; 3ª Ed., Prentice Hall, U.S.A., 1999, 760 p.p.

TESIS CCA
FALLA DE ORIGEN

No. de
Referencia

- [38] Licm, J. A., et al.; "A Quantitative Method for Evaluating Incinerator Test Burn Results"; Incineration, Journal of the Air and Waste Management Association, Enero 8, p.p.47-55, (1991).
- [39] McCabe W. L. & Smith J. C.; "Unit Operations of Chemical Engineering", 3ª Ed., McGraw Hill Chemical Engineering Series, Tokio, Japan, 1976, 1028 p.p.
- [40] McQuarrie, Donald A. & Rock, Peter A.; "General Chemistry", 3ª Ed., W. H. Freeman Co., U.S.A., 1991, p.p. 275-389.
- [41] NMX-AA-10-1974; "Determinación de la Emisión de Partículas Sólidas Contenidas en los Gases que se Descargan por un Conducto".
- [42] NOM-081-ECOL/1994; "Que establece los límites Máximos Permisibles de Emisión de Ruido de las Fuentes Fijas y su Método de Medición".
- [43] NOM-083-ECOL-1996; "Que establece las Condiciones que deben reunir los Sitios Destinados a la Disposición Final de los Residuos Sólidos Municipales".
- [44] NOM-086-ECOL-1994; "Que establece las Especificaciones sobre Protección Ambiental que deben reunir los Combustibles Fósiles Líquidos y Gaseosos que se usan en las Fuentes Fijas y Móviles".
- [45] North American Mfg. Co.; "North American Combustion Handbook"; 3ª Ed., U. S. A., 1986, 332 p.p.
- [46] Parker, Albert N.; "Contaminación del Aire por la Industria"; Reverté, España, 1983, p.p. 71-103.
- [47] Perry; "Manual del Ingeniero Químico", 6ª Ed., 3ª en Español, McGraw -Hill, México, 1992.
- [48] Reid, Robert; Sherwood, Virginia; Prausnitz, John; "The Properties of Gases and Liquids"; 3ª Ed., McGraw - Hill, U.S.A., 1977, 688 p.p.
- [49] Romieu, H., et al; "Urban air Pollution in Latin American and the Caribbean"; Journal of the Air and Waste Management Association, Mayo 8, p.p. 1166-1171, (1991).
- [50] S.E.D.U.E. "Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera, DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, 25 DE NOVIEMBRE DE 1988, México.

TRINIDAD
TELON CASH
FALLA DE ORIGEN

No. de
Referencia

- [51] Segura, José C.; "Termodinámica Técnica"; Editorial AC, España, 1980, 696 p.p.
- [52] Smith, M. J., y Van Ness, C. H.; "Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics". 3ª Ed., McGraw Hill, U.S.A., 1975, 823.
- [53] Spalding, Brian D.; "Combustión y Transferencia de Masa"; Compañía Editorial Continental S.A., México, 1983, 398 p.p.
- [54] Tester, J. W., & Modell, M.; "Thermodynamics and its Applications"; 3ª Ed., Prentice Hall, U.S.A., 1997, 936 p.p.
- [55] Williams, Forman A.; "Combustion Theory"; Addison Wesley Publishing Company, Inc., U.S.A., 1965, 447 p.p.
- [56] Yaws L., Carl et al; "Sulfur Oxides: SO₂, SO₃ (Physical and Thermodynamics Properties)"; Chemical Engineering, Julio 8, p.p. 85-92, (1974).
- [57] Yaws L., Carl et al; "Carbon Oxides: CO, CO₂ (Physical and Thermodynamics Properties)"; Chemical Engineering, Septiembre 30, p.p. 115-122, (1974).
- [58] Crematorios;
(<http://www.netSPACE.com.mx/empresas/gisa/gaslp.html#carac>), U.S.A., 25/03/02, 22:14
- [59] Crematory;
(<http://paradisecrematory.com/tour/index.htm>), U.S.A., 25/03/02, 21:17
- [60] Crematory;
(<http://webexhibits.org/ashfactories/about.html>), U.S.A., 25/03/02, 21:50

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN