



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

**“Desarrollo del Sistema de Dispersión y Cámara de Combustión
en Pruebas de Campo para la Eliminación Térmica de Aguas de
Sentinas de Buques”**

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

(PROYECTO DE GRADUACIÓN)

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

César Bernard Coppiano García

GUAYAQUIL-ECUADOR

2015

AGRADECIMIENTO

A Dios. Creador de todo el
Universo

Al PhD. Alfredo Barriga por
ser partícipe de mi formación
académica y por dirigir este
proyecto y por su gran apoyo
desinteresado.

Al Ing. Xavier Ladines por su
ayuda en la búsqueda
información, visitas técnicas
y el desarrollo de este
proyecto.

Al Ing. José Carlozama por
su gran apoyo en la
realización de las pruebas de
campo

A Joffre Alcívar, gran amigo
por ayudarme en parte de mi
formación académica.

A mis amigos con quienes
vivimos esta gran etapa de
formación Universitaria.

DEDICATORIA

Madre MSc. María García
Yancecon quien he vivido los
mejores días de mi vida y su
gran apoyo incondicional hizo
posible este logro.

A mis Hermanas María
Coppiano García, Sofía
Coppiano García por confiar
en mí.

A mi Padre Ramón
Coppiano.

A mis primas Sofía, Marita,
Raquel, Maya.

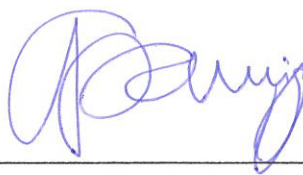
A mi tía Pirian

A mis amigos de Pedro
Carbo que siempre los tengo
presente.

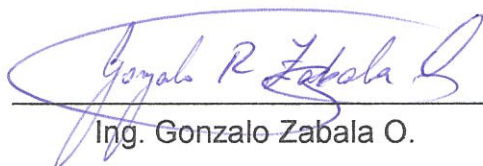
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Jorge Duque R.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Dr. Alfredo Barriga R.
DIRECTOR DEL TFG



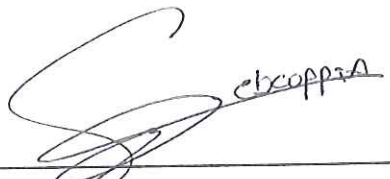
Ing. Gonzalo Zabala O.

VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido desarrollado en el presente Trabajo Final de Graduación, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



César Bernard Coppiano García

RESUMEN

La determinación final de desechos contaminados con hidrocarburos es de suma importancia, si no se sigue la metodología adecuada, por normas nacionales e internacionales y métodos de eliminación para este fin, existe un alto riesgo de contaminación ambiental.

En este proyecto se indago acerca de la disposición final de las aguas oleosas aguas de sentinas' provenientes de los buques que llegan a los puertos marítimos del País, esta son entregadas a empresas (Gestores Ambientales) para su disposición final.

En el estudio se analizó como se da la eliminación térmica de residuo acuoso donde además se encuentra presente lodos de fondo de tanque que se dan por la presencia de sedimentos acumulados.

Previas visitas técnicas de campo a empresas dedicadas a incinerar desechos peligrosos que no pueden ser eliminados por otros medios, se parte a establecer un sistema con capacidad de 2 Ton/día para disposición final de los residuos de aguas de sentinas, mediante el método de evaporación, dispersando el residuo en una cámara de combustión de un incinerador adecuado para este fin.

Para establecer los parámetros requeridos se debe disponer de un sistema de eliminación térmica, por lo cual se procedió a realizar pruebas experimentales de campo en el incinerador de desechos peligrosos del Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable (CDTS) de la ESPOL.

Este incinerador cumplió con las características básicas requeridas en la obtención de variables a considerar dentro del dimensionamiento para una capacidad indicada. En estas pruebas se establecieron temperaturas de operación de la cámara principal del incinerador experimental, y parámetros sobre cómo debe darse la dispersión de residuo.

Cabe indicar que se utilizó muestras de agua de sentina con contenidos de 35% de aceite presente y 65% de agua, donde se determinó su disposición final mediante evaporación térmica quemando el aceite aun presente.

Se realizó un análisis estequiométrico teórico de combustión, en el cual se determinó el flujo de gases de salida. Se estableció el dimensionamiento preliminar de una cámara de postcombustión con un tiempo de residencia de 2 segundos para gases no quemados en la primera etapa de combustión tiempo normado estimado para que se eliminen gases nocivos como los NOx, dioxinas y furanos, etc., antes que puedan ser lanzados a la atmósfera o enviados hacia el sistema de depuración de gases

Para el requerimiento de esta capacidad se estableció un análisis económico de la implantación total de un sistema de eliminación térmica, y se analizó como varían los costos para sistemas de mayor capacidad.

El presente estudio muestra que es posible eliminar residuo de aguas de sentina por este medio. Se deberán considerar todos los parámetros mencionados en el proyecto para una posible implementación.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	v
ABREVIATURAS.....	viii
SIMBOLOGÍA.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE PLANOS.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
 CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES.....	4
1.1 Antecedentes	4
1.2 Alcance	5
1.3 Objetivos.....	7
1.3.1 Objetivo General	7
1.3.2Objetivos Específicos	7
 CAPÍTULO 2	
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 Procedencias de las Aguas de Sentinas.....	9
2.2 Métodos de eliminación de residuos de aguas de sentinas.....	11

2.3 Manejo de residuos de hidrocarburos.....	25
2.4 Desarrollo tecnológico.....	29

CAPÍTULO 3

3. DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN (HOGAR) PARA PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	32
3.1 Tasa volumétrica de generación de calor.....	32
3.2 Estimación del volumen de cámara de combustión para pruebas.....	39
3.3 Masa térmica de la cámara de combustión de pruebas.....	45
3.3.1 Espesor de paredes.....	55
3.4 Tipo de parrilla.....	57

CAPÍTULO 4

4. SISTEMA DE DISPERSIÓN.....	60
4.1 Opciones de ingreso de fluido en cámara de combustión.....	60
4.2 Parámetros de ingreso del residuo líquido.....	62
4.3 Materiales y accesorios para pruebas.....	68
4.4 Esquema de operación.....	75

CAPÍTULO 5

5.PRUEBAS DE CAMPO	77
5.1 Estimación de la viscosidad del residuo.....	77

5.2 Dispersión del residuo en la cámara de combustión (Hogar).....	80
5.3 Temperaturas de operación.....	96
5.4 Aire complementario.....	99
5.5 Ducto de salida de gases residuales.....	107
5.6 Análisis de Resultados.....	111

CAPÍTULO 6

6. ANÁLISIS DEL COSTO DEL SISTEMA	114
6.1 Parámetros involucrados.....	114
6.2 Costo inicial del sistema.....	115
6.3 Costos operativos.....	118

CAPÍTULO 7

7. Conclusiones y Recomendaciones.....	124
7.1 Conclusiones.....	124
7.2 Recomendaciones.....	128

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
MARPOL	International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
CDTS	Centro de desarrollo tecnológico sustentable
DIMER	Dirección General de Marina Mercante y del Litoral
PLC	Power Line Communications
VP	Valor presente neto.
I	Tasa de interés
n	Proyección de horizonte tiempo
FRC	Factor de Recuperación de capital
ASTM	American Society for Testing and Materials.

SIMBOLOGÍA

ton	Tonelada
h	Hora
kg	Kilogramo
MJ	Mega Julios
m	Metro
seg	Segundo
m ²	metro cuadrado
m ³	metro cubico
PC	Poder Calorifico
NOx	Oxido de nitrogeno
K	Grados Kelvin

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Sistema de extracción de aguas de sentina	5
Figura 2.1	Cantidad estimada de residuos producidos en los principales puertos	10
Figura 2.2	Esquema de disposición final de las aguas de sentina	12
Figura 2.3	Esquema de operación de disposición de las aguas de sentinas	15
Figura 2.4	Piscina de lodos.	16
Figura 2.5	Esquematización del sistema de incineración de residuos.	19
Figura 2.6	Sistema separador de aguas de sentinas a bordo de los buques	20
Figura 2.7	Filtro separador de aguas de sentinas.	21
Figura 2.8	Separador por placas corrugas	23
Figura 2.9	Recuperación de aceite proveniente de lagunas y estanques de sedimentación utilizando un Trincanter®.	24
Figura 3.1	Volúmenes de cámara para un régimen de calor establecido.	43
Figura 3.2	Cámara principal de combustión.	44
Figura 3.3	Sistema de incineración para desechos peligrosos.	44
Figura 3.4	Modelo de transferencia de calor para pared compuesta	46
Figura 3.5	Modelo compuesto de distribución de temperatura en las paredes de la cámara principal.	48
Figura 3.6	Esquema de aislamiento térmico en cámara de combustión principal	48
Figura 3.7	Cámara de combustión de pruebas.	49
Figura 3.8	Temperatura exterior vs aislante térmico.	58
Figura 3.9	parrilla móvil horno de secado de arroz.	59

Figura 3.10 Incinerador con parrilla – móvil	59
Figurar 3.11 Parrilla recolectora de residuo no quemado	59
Figura 4.1 Esquema de dispersión de residuos de hidrocarburo	61
Figura 4.2 Cámara de combustión de inyección líquida	61
Figura 4.3 Boquilla de prueba 1	64
Figura 4.4 Boquilla de prueba 2	65
Figura 4.5 Bomba neumática de doble diafragma de dispersión	65
Figura 4.6 Esquema de dispersión de residuo de aguas de sentina	67
Figura 4.7 Sistemas de dispersión para pruebas experimentales de campo.	69
Figura 4.8 Lanza de dispersión en cámara de combustión.	70
Figura 4.9 Termocuplas.	71
Figura 4.10 Termómetros electrónicos de termopar	72
Figura 4.11 Cámara de combustión para pruebas experimentales de Campo	73
Figura 4.12 Quemador para pruebas experimentales de campo	74
Figura 4.13 Quemadores de gas, visita a gestora ambiental	74
Figura 4.14 Esquema de dispersión empleado en las pruebas experimentales de campo	76
Figura 5.1 Banco de capilares para determinar la viscosidad laboratorio de petróleo .	78
Figura 5.2: Viscosidades de fluidos para diferentes temperaturas.	79
Figura 5.3 Dispersión de gotas en cámara.	81
Figura 5.4 Dispersión lateral en cámara	82
Figura 5.5 Dispersión 800(°C) quemador apagado	84
Figura 5.6 Dispersión a 800°C paralela a la llama del quemador principal	86
Figura 5.7 Dispersión paralela. 800(°C) quemador on/off	88
Figura 5.8 Dispersión paralela en cámara	89
Figura 5.9 Dispersión a (0,7m) con quemador encendido	90

Figura 5.10 Dispersión a 800°C, estabilización de temperatura en cámara	90
Figura 5.11 Dispersión a 800°C, medida a la salida de cámara	93
Figura 5.12 Curva de temperatura promedio de la cámara de pruebas	97
Figura 5.13 Régimen de temperaturas de dispersión en la cámara principal de pruebas	110
Figura 6.1 Curva de costos estimado por tonelada de residuos	120
Figura 6.2 Costo unitario por tonelada instalada	123

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1	Normas de prevención contaminación marina para descargas de residuos desde las embarcaciones	28
TABLA 2.	Matriz de decisión de tecnología aplicada en este proyecto.	30
TABLA 3	Valoración para la tecnología consultada a este proyecto	31
TABLA 4	Tasa volumétrica de generación calor.	36
TABLA 5	Muestra (residuo de sentían)	37
TABLA 6	Estimación del volumen de cámara	39
TABLA 7	Propiedades del (diésel).	40
TABLA 8	Selección del volumen de cámara principal definido.	42
TABLA 9	Rango máx. Y min de eliminación térmica para el volumen de cámara seleccionada.	42
TABLA 10	Temperaturas obtenidas en pruebas de campo.	49
TABLA 11	Valores típicos de coeficiente de transferencia de calor	50
TABLA 12	Espesores de distintos materiales que forman la cámara de combustión principal	53
TABLA 13	Variación de la temperatura exterior	56
TABLA 14	Parámetros establecidos para la Realización de las pruebas experimentales de Campo	80
TABLA 15	Datos de temperatura pruebas dispersión lateral quemador apagado	82
TABLA 16	Datos de temperatura pruebas dispersión lateral quemador Encendido	85
TABLA 17	Dispersión paralela en la llama del quemador	87
TABLA 18	Dispersión lateral en la llama del quemador(0,7m)	
	Datos de temperatura primera prueba dispersión paralela	89
TABLA 19	Régimen de temperatura de combustión	92

TABLA 20 Capacidad establecida de residuo en porcentajes para las pruebas	94
TABLA 21 Temperatura promedio de cámara de combustión principal obtenida en pruebas de campo – CDTs ESPOL	97
TABLA 22 Temperatura promedio utilizada para dispersión en pruebas experimentales de campo	98
TABLA 23 Materiales y equipos	115
TABLA 24 Máquinas y fungibles	116
TABLA 25 Mano de Obra	117
TABLA 26 Costos Operativos	118
TABLA 27 Costo estimado por toneladas para mayores capacidades de residuo	120
TABLA 28 Áreas Establecida para la determinación de longitud de cámara	122
TABLA 29 Estimación de los volúmenes de cámara para distintas capacidades	122
TABLA 30 Tabla de costos estimados, para mayores capacidades	123

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 PLANO CONCEPTUAL IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del siguiente proyecto final de graduación comprende lo siguiente.

En el capítulo 1 describe que son las aguas oleosas de sentinas de las embarcaciones; se establece que en el presente estudio solo se ha tomado en cuenta la parte fluida del residuo. Se establecen los objetivos generales y específicos del proyecto, donde se instituyen parámetros para realizar las pruebas experimentales de campo como la dispersión de residuo en la cámara principal de pruebas, que permitió realizar un dimensionamiento de un sistema de eliminación térmica para 2 Ton y estimar los costos operativos.

En el capítulo 2 da una breve descripción de los fundamentos teóricos, la procedencia del residuo, las normas ambientales utilizadas para la disposición final de desechos peligrosos contaminantes, y la tecnología que existe para tratar estos desechos.

En el capítulo 3 presenta las consideraciones para el dimensionamiento de la cámara principal de combustión donde se dispersara el residuo, para la capacidad tratada, estableciendo la cantidad de energía por volumen de

residuo que se puede generar. Este parámetro sirvió para estimar un volumen de cámara para el requerimiento.

Se hace un análisis de la transferencia de calor, aplicando el modelo de pared compuesta determinando la temperatura promedio interior de cámara. Para la temperatura exterior se hace un análisis del calor transferido con diferentes espesores de aislante térmico (lana de roca) donde el proceso de operación en una futura implementación de proyecto no cause un posible riesgo.

En el capítulo 4 se han determinado los parámetros necesarios en las pruebas de dispersión en el incinerador de desechos peligros, identificando los desafíos que afectan la dispersión, y cuantificando los materiales y equipos requeridos, Se establece el esquema de dispersión que se llevó.

El capítulo 5 detalla cómo se determinó la viscosidad de este residuo y en que rango se encuentra, cabe indicar que esta propiedad afecta la formación de las gotillas dispersas de residuo y por ende la combustión producida. El análisis de otros parámetros no se encuentra dentro del estudio del proyecto. Se analizan las pruebas experimentales de campo, dispersión en la cámara de pruebas; se establece la temperatura de operación del incinerador experimental,

determinando en qué rango se estabiliza la cámara principal. Parámetro referencial de temperatura de operación entre 800°C y 900°C.

En el dimensionamiento final del sistema, se hace un análisis estequiométrico de combustión, estimando la cantidad de aire suministrado determinando el flujo de gases de salida, y evaluar la cámara de post combustión que se requerirá para esta capacidad. Posteriormente se estableció un análisis de resultados del proyecto descrito.

El capítulo 6 determina el costo detallado para el sistema de 2 Ton cuantificando los materiales, mano de obra, etc. Se considera el costo para sistemas de mayor capacidad

El capítulo 7 detalla las conclusiones y recomendaciones que surgieron en la ejecución de este proyecto.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES.

1.1. Antecedentes

Las aguas de sentinas son desechos que se acumulan en la parte inferior (más baja) de las embarcaciones conocida como sentinas, de ahí su nombre. Estas aguas son una mezcla de todos los fluidos disipados del cuarto de máquinas y sus respectivos componentes, residuos de combustible, desechos de limpieza de tanques y agua.

Las aguas de sentinas contextualizando, están contaminadas con residuos de hidrocarburos provenientes del funcionamiento de la embarcación.

En el Ecuador existen empresas Gestores Ambientales para dar disposición a este tipo de residuo y su posterior eliminación. De las empresas consultadas se pudo evaluar que existen etapas previas a la disposición final del residuo; es posible recuperar el aceite

contaminante mediante evaporación, y puede ser reutilizado como combustible alternativo residual pesado.

Generalmente lo que hacen estas industrias es usar este aceite recuperado en los quemadores de las calderas o incineradores.

En la figura 1.1 se muestra el esquema de extracción de las aguas oleosas de sentinas.

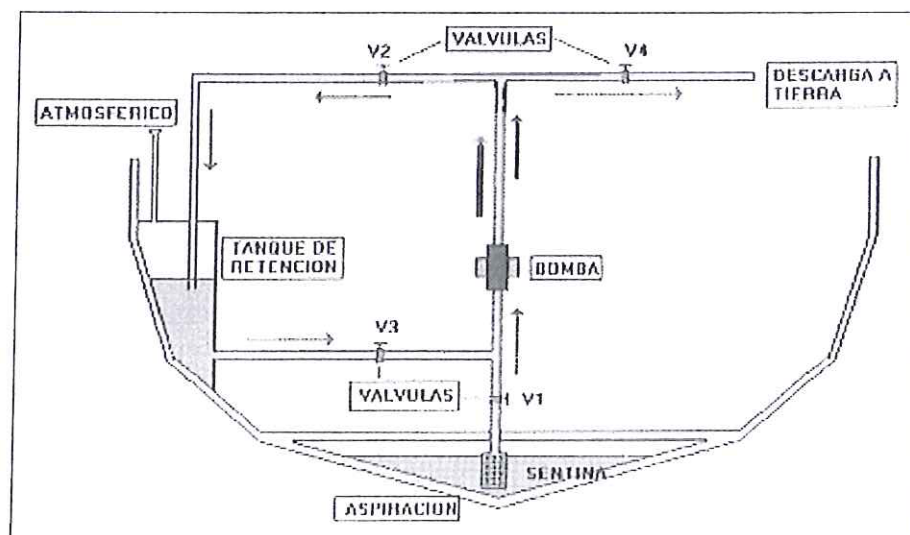


FIGURA 1.1 SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AGUAS DE SENTINA

FUENTE: [2]

1.2 Alcance

Este proyecto analiza mediante pruebas experimentales de campo la metodología para eliminar térmicamente residuo de aguas de

sentina de buques, por método evaporativo, dispersando el fluido dentro de una cámara de combustión de pruebas.

Las pruebas de campo dan una visión sobre cuán complejo puede ser el proceso para la disposición final de estos residuos y la implementación requerida. El análisis se realizó para concentraciones de residuo del 35% de aceite y 65% de agua, solo se basa en la parte acuosa, ya que el sedimento que se encuentra presente, como lodos de fondo, debe ser considerado con un sistema adicional de carga en la cámara del incinerador que se pudiera implementar, y no ha sido parte del presente proyecto.

La determinación de parámetros reales obtenidos, dan un enfoque para establecer un sistema de eliminación térmica para una capacidad obtenida en consultas y visitas a Gestores Ambientales. Mediante este parámetro se realizó el dimensionamiento de la cámara principal requerido, estableciendo un rango operativo de energía adicional como combustible para el proceso.

Se realizó un análisis teórico del proceso de combustión para estimar el flujo de gases de salida de la primera etapa de combustión, y el dimensionamiento del post-combustor.

La viscosidad del residuo ha sido estimada en pruebas de laboratorios, al igual que la obtención del poder calorífico de la muestra suministrada.

Se hizo un análisis de costos del proyecto para la capacidad establecida.

Las pruebas experimentales de campo fueron efectuadas en las instalaciones de CDTS – ESPOL.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Eliminar térmicamente residuos de aguas de sentinas provenientes de buques. Los residuos de aguas de sentinas se dan de la recolección de fluidos aceitosos en los diversos elementos de funcionamiento de las embarcaciones, los cuales se acumulan en depósitos de desechos residuales para su posterior disposición final.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Establecer parámetros de incineración para este tipo de desechos; mediante pruebas experimentales de campo,

por método de dispersión dentro de una cámara de incineración de pruebas para su posterior disposición.

- Dimensionar un sistema de eliminación térmica para una capacidad establecida de 2Ton con una composición de residuo de 35% de aceite y 65% de agua determinando que es posible su implementación
- Realizar un análisis económico detallado para el sistema mencionado y una estimación de costo para mayores capacidades.

CAPÍTULO 2

2 MARCO TEÓRICO

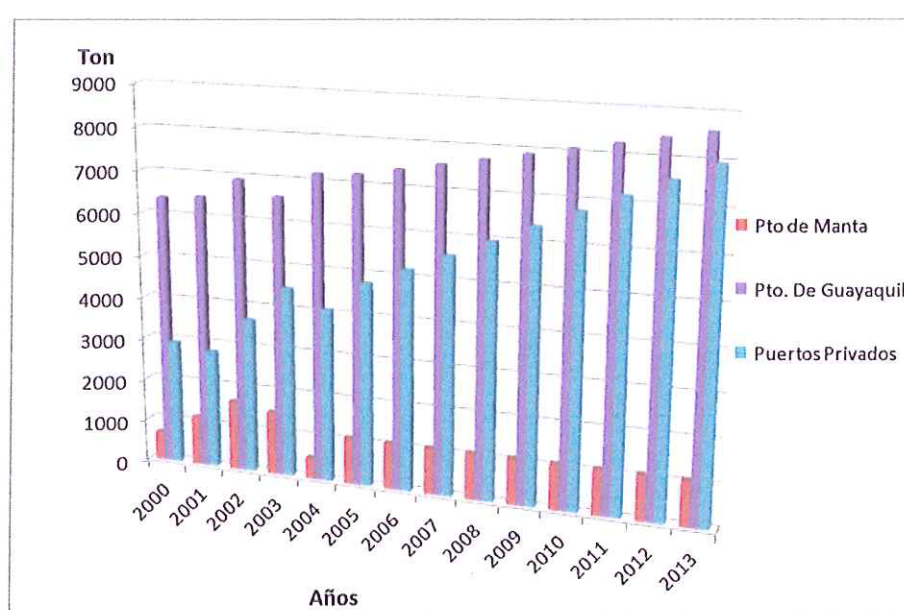
2.1. Procedencias de las Aguas de sentinas

Las instalaciones pertinentes en los Puertos marítimos del Ecuador son la fuente de recolección de este residuo, las embarcaciones que atracan¹ en el puerto traen consigo estas aguas y deben deshacerse de ellas. Existen empresas que se dedican a recolectar estos desechos hasta su disposición final; estas entidades prestan sus servicios a cada uno de los puertos del País debido al gran número de embarcaciones que llegan y requieren descargar estos residuos.

Cabe indicar que los residuos presentes en las embarcaciones son tres: aceite quemado en las máquinas, aguas negras y lodos residuales de combustible. Generalmente los lodos y el aceite colectado va directamente a la sentina de las embarcaciones.

¹ Atracar: Arrimar una embarcación a tierra

Una indagación previa a la generación de residuos en el país esquematizará las cantidades de residuos que se generan en los puertos principales. En la figura 2.1 se muestra la cantidad estimada (Ton) de residuos generados en los principales puertos, en los últimos años.



**FIGURA 2.1 CANTIDAD ESTIMADA DE RESIDUOS
PRODUCIDOS EN LOS PRINCIPALES PUERTOS**

FUENTE: [6]

Esta información da una estimación de la cantidad de residuos que se genera y que deberá ser eliminado, o en muchos casos se recuperará la mezcla de aceite presente, para luego ser utilizado como combustible alterno pesado, o como base de aceite para

procesos posteriores. Debe ser de suma importancia la disposición final que se dé a las aguas de sentina para evitar algún tipo de contaminación.

2.2 Métodos de eliminación de residuos de aguas sentina

En el Ecuador existen entes que se encargan de prescindir de los desechos contaminantes, una vez que las aguas de sentinas son recolectadas de los buques que yacen en los terminales portuarios, las empresas gestoras ambientales las tratan para su disposición final. El residuo se especifica de dos maneras en parte fluida y parte sólida (lodos de fondos).

En la figura 2.2 se especifica la forma más frecuente realizada por algunos Gestores Ambientales.

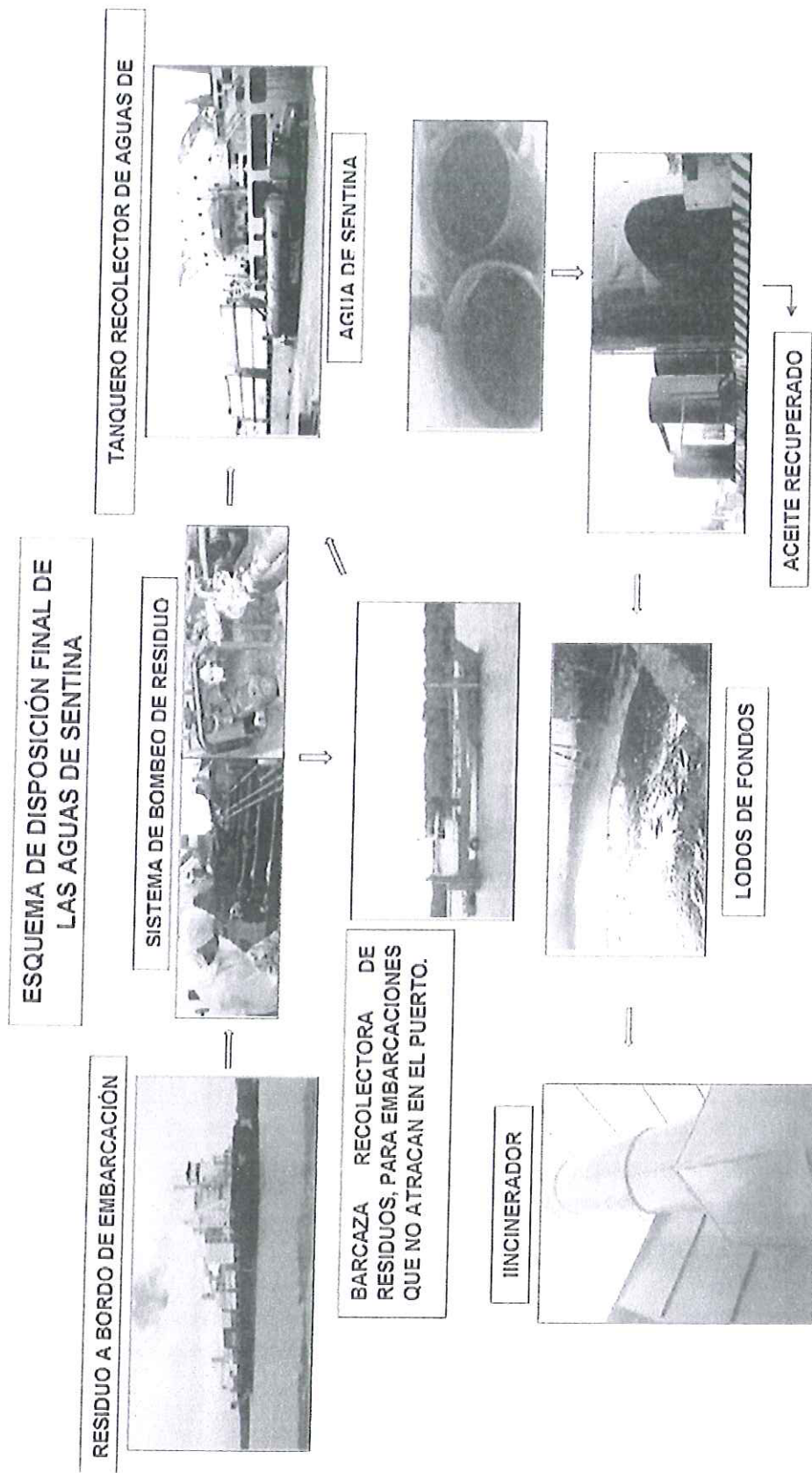


FIGURA 2.2 ESQUEMA DE DISPOSICIÓN FINAL DE LAS AGUAS DE SENTINA
FUENTE: [16]

El residuo es nocivo para el Medio Ambiente, habitualmente se recupera el aceite por algunos tipos de métodos. Los más comunes en este medio son:

- Separación por evaporación (Gestores Ambientales –Proceso general)
- Eliminación de lodos, utilización del residuo como combustible auxiliar
- Sistemas de separación de aguas oleosas a bordo de embarcaciones
- Separadores por placas corrugadas
- Separadores Centrífugos.

Separación por Evaporación

La separación consiste en recolectar estos residuos desde las embarcaciones, hasta tanques reservorio de las gestoras calificadas por el Ministerio del Ambiente; posteriormente serán bombeados hasta el tanque de evaporación.

Este consiste en un agitador y un intercambiador de calor proporcionado, que utiliza vapor desde un caldero, a su vez el residuo no homogéneo será calentado, hasta que el agua presente en el residuo comience a evaporarse que dando solamente el aceite presente.

Luego el aceite que se obtiene de proceso es depositado en otro reservorio donde lo utilizar como combustible alterno para el caldero, etc. De no ser así es pasado por una filtración más fina quitando el carbón aún presente en él aceite recuperado, para luego utilizarlo como aceite base para otros subprocesos.

En la figura 2.3 se detalla el esquema de disposición final de las aguas de sentina.

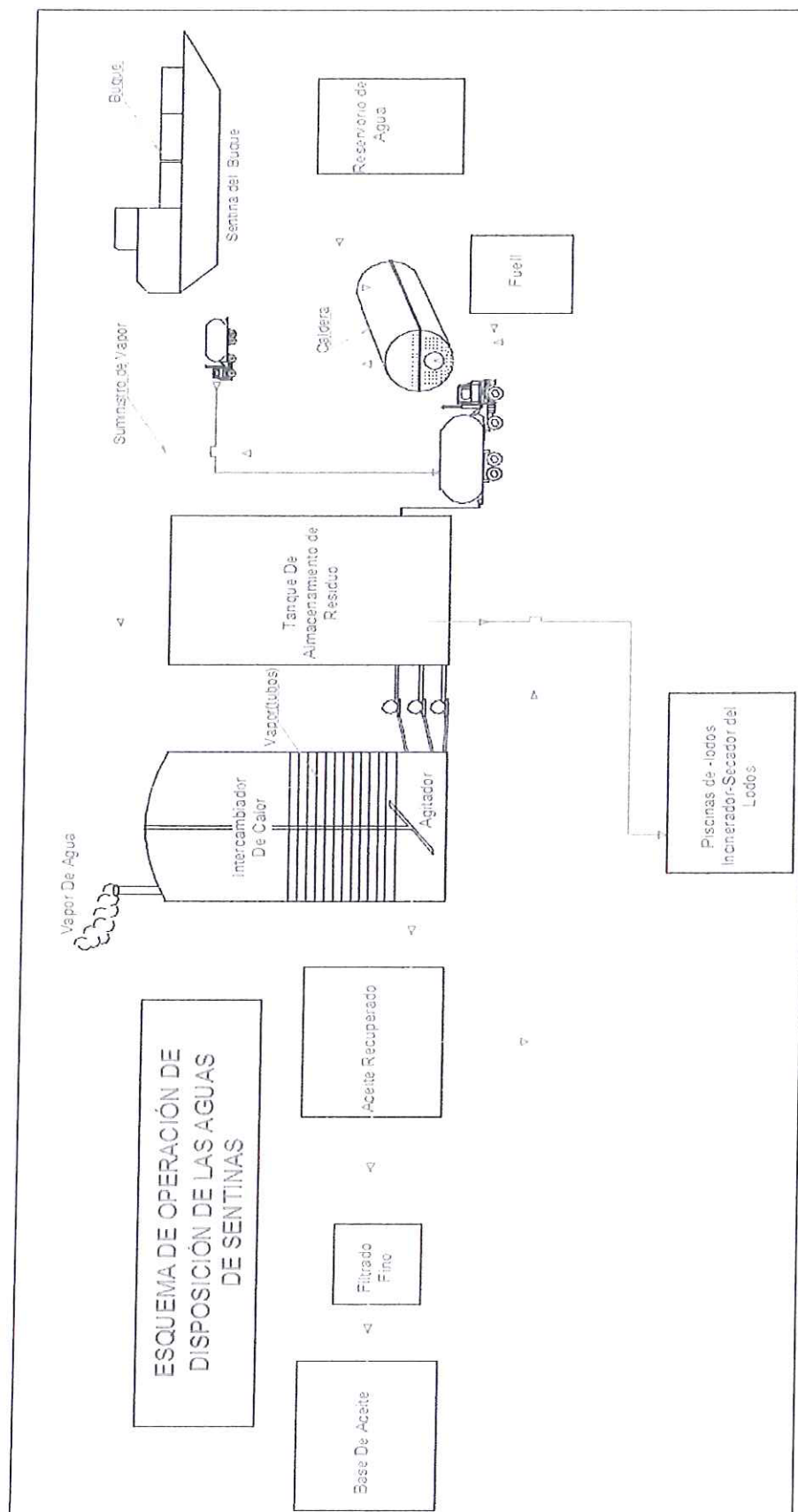


FIGURA 2.3 ESQUEMA DE OPERACIÓN DE DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS DE SENTINAS.

Los sedimentos que se encuentran en el proceso de evaporación o de la recolección son traslado a las piscinas de lodos, ver figura 2.4 donde son quemados para desaparecer el contenido de hidrocarburos presente.

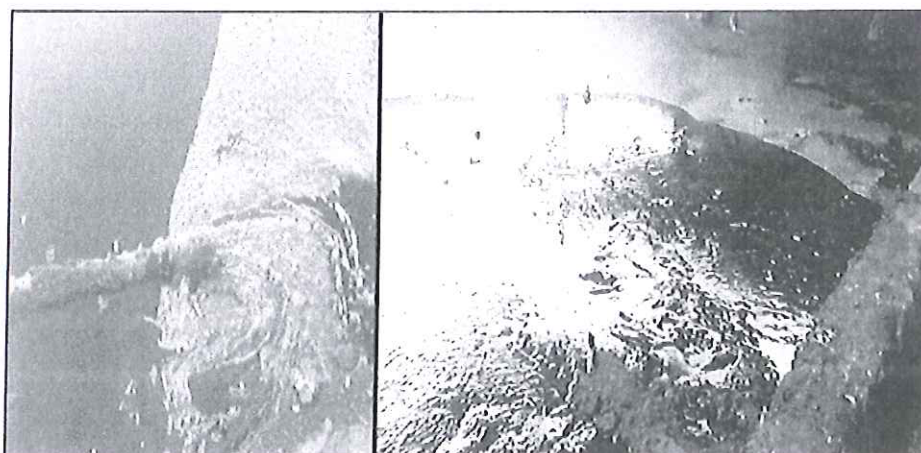


FIGURA 2.4 PISCINA DE LODOS

Fuente: [16]

Las aguas de sentinas de bajo porcentaje de hidrocarburo presente (aceite), se foguean con los lodos de fondos, y el aceite pesado recuperado en el proceso de evaporación se emplea como combustible para este proceso de secado. Una vez destruido el hidrocarburo presente, este residuo (lodo) puede tener una disposición final, sin generar contaminación alguna.

Los incineradores, como fin deben de poseer una cámara de post combustión para quemar los gases residuales obtenidos en la primera cámara, así garantizar un tiempo de residencia de al menos 2 segundos de los gases a una temperatura de 1000°C aproximadamente, para evitar lanzar a la atmósfera gases nocivos no quemados. Deberán poseer un sistema de depuración de gases optimizando el proceso de no contaminación ambiental. Para los residuos con el 50% de aceite presente se da el proceso de evaporación o utilización directa como combustible auxiliar en muchos casos

El esquema de incineración mostrado en la figura 2.5 consiste en recolectar las aguas de sentinas desde la embarcación, para luego almacenarlas en bodegas debidamente adecuadas, donde son depositados en tanques de 55 galones.

Una de las gestoras ambientales visitadas utilizaba este residuo como combustible alternativo en el proceso de incineración de otros tipos de contaminantes ambientales, que no pueden ser reciclados o destruidos por otros medios. La dispersión del residuo se da desde un sistema neumático de bombeo hacia el interior de la cámara principal de combustión.

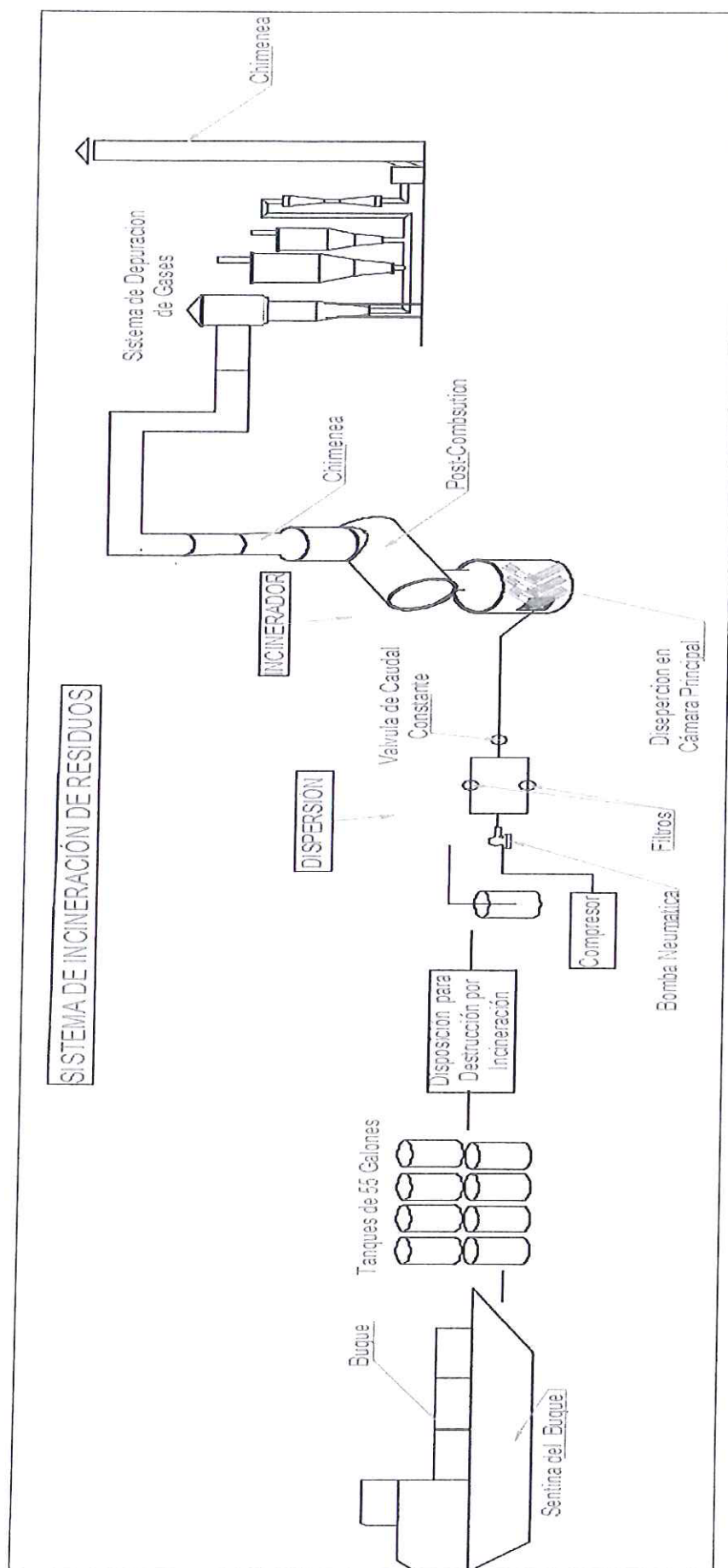


FIGURA 2.5 REPRESENTACIÓN DEL SISTEMA DE INCINERACIÓN DE RESIDUOS.

Sistemas de Separación de aguas oleosas a bordo de embarcaciones

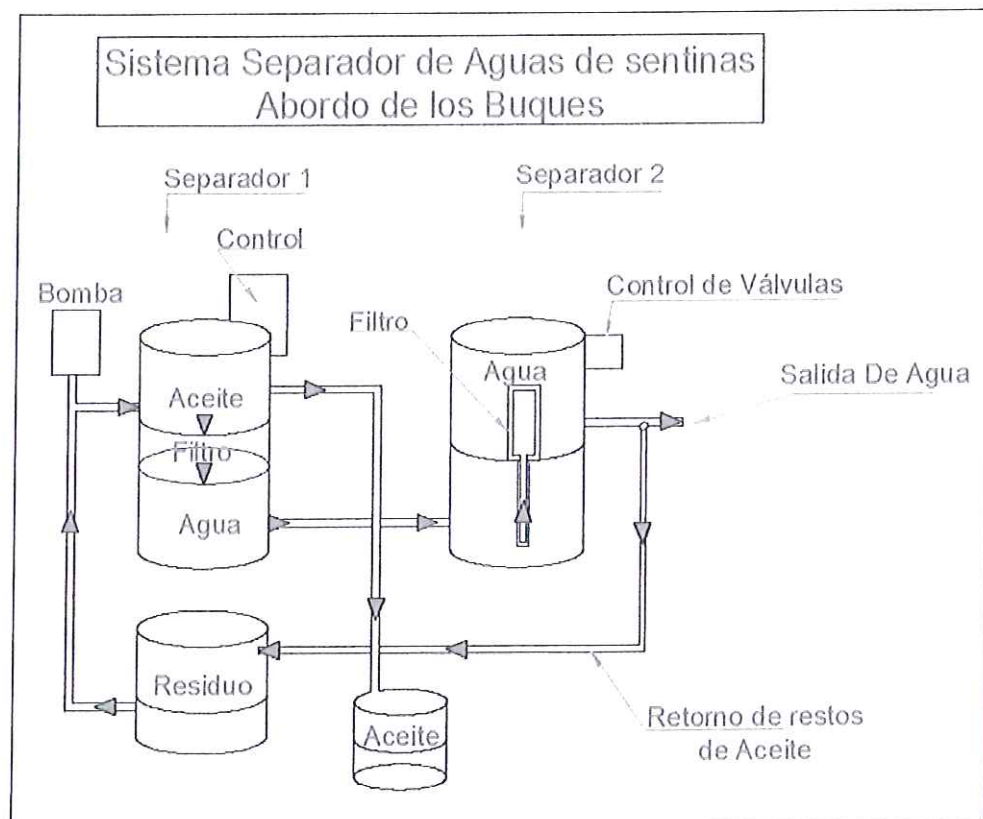
EL separador de aguas oleosas, debe de ir en cada una de las embarcaciones, como lo estipula el Convenio MARPOL 73/78, Internacional para la Prevención de la Contaminación por los Buques.

Este método consiste en bombear el residuo hasta el primer tanque filtro, donde se retendrá la mayor cantidad de aceite presente.

La separación, es decir la retirada de las gotas más pequeñas y finas de aceite tiene lugar en el coalescedor de alta eficiencia.

El material coalescente no absorbe ni el agua ni el aceite. Sin embargo el aceite es atraído a la superficie oleofílica formándose gotas que crecen hasta flotar.² Como se muestra en la figura 2.6

² TURBULO TMPB. Tomado de <http://www.uniontecnica.com.ar/seccion/productos/producto/25>



**FIGURA 2.6 SISTEMA SEPARADOR DE AGUAS DE SENTINAS
A BORDO DE LOS BUQUES**

FUENTE: [9]

El sistema de filtración se da por (filtro coalescente), está conformado por una distribución porosa, posee baja pérdida de presión. Las partículas que se encuentran presente en el residuo, no suelen obstaculizar la circulación del flujo, deberá cambiarse de acuerdo al uso excesivo determinado por el fabricante. Ver figura 2.7

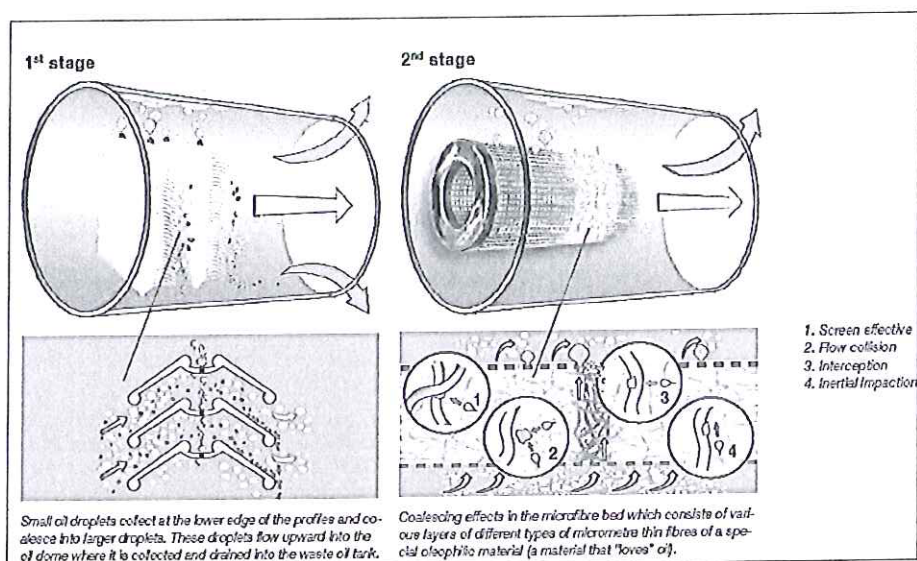


FIGURA 2.7 FILTRO SEPARADOR DE AGUA DE SENTINAS.

FUENTE: [9]

Separadores por placas corrugadas

El Separador de Agua-Aceite de Placas Corrugadas opera de la siguiente manera. Ver figura2.8.

Cuando el agua de desecho entra al Separador (oil wáter influent), la velocidad es reducida, permitiendo que los sólidos se precipiten al fondo a través de la trampa de arena (Sand trap) y las gotas de aceite suspendidas floten a la superficie.

El residuo pasa por un amortiguador (distribution weir) que distribuye el flujo hacia las placas corrugadas coalescentes. Estas placas tienen la forma de un panal de abejas y logran atrapar el

aceite libre, cuando el tamaño de la partícula sea lo suficientemente grande, lo dejará escapar hacia la superficie.

El aceite removido es llevado hacia el vertedero (Adjustable oil weir) por simple gravedad para ser retirado (primary oil removal). El agua que pasó por estas placas es enviada hacia la salida (Effluent), no sin antes ser forzado el paso para liberar el efluente de sólidos sedimentables y/o flotantes que hayan escapado al proceso.

El vertedero del efluente es ajustable (Adjustable effluent weir) con el fin de manipularlo cada vez que exista la riesgo de aceite en el agua ya tratada. Este aceite se descargará por la salida destinada (Secondary oil removal).

Los lodos (si llegara a haber) se descargarán por efecto de vasos comunicantes por las salidas destinadas a esa función (Primary & secondary solid removal).

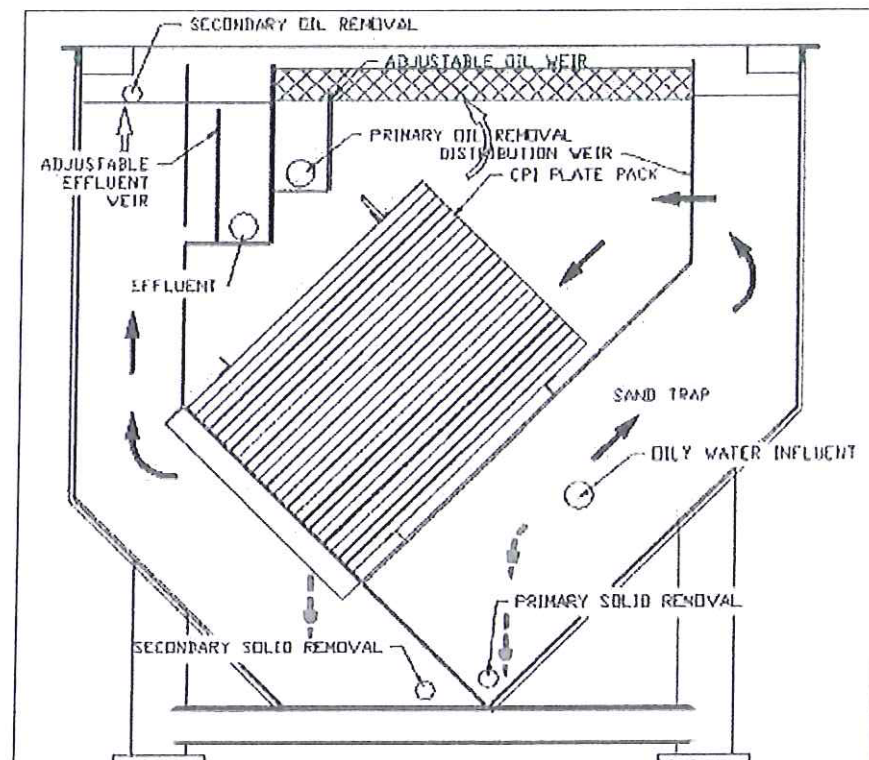


FIGURA 2.8 SEPARADOR POR PLACAS CORRUGAS
FUENTE: [10]

Es importante resaltar que no contiene partes móviles, por lo cual es libre de mantenimiento y cómo opera por gravedad. Debido a sus placas coalescentes, tienen un tiempo de retención de 3 a 10 minutos, otros equipos necesitan de 1 a 3 horas para lograr la misma capacidad de remoción.

Separador Centrífugo

Las grandes industrias petroleras, alimenticias utilizan este sistema de separación centrífuga, en sus procesos, resulta más eficiente su empleo. Uno de los principales desafíos de implementación es los costos de adquisición y mantenimiento.

Generalmente los lodos contaminados con hidrocarburos suelen estar en piscinas abiertas a la atmósfera, pudiendo existir riesgo de contaminación del entorno. Con el uso de esta tecnología es posible recuperar el aceite presente en el residuo. Anexo a la centrifugación el residuo se lo suele precalentar para que sea menos viscoso haciendo más eficiente la recuperación. En el siguiente esquema ver figura 2.9, muestra la operación de este sistema.

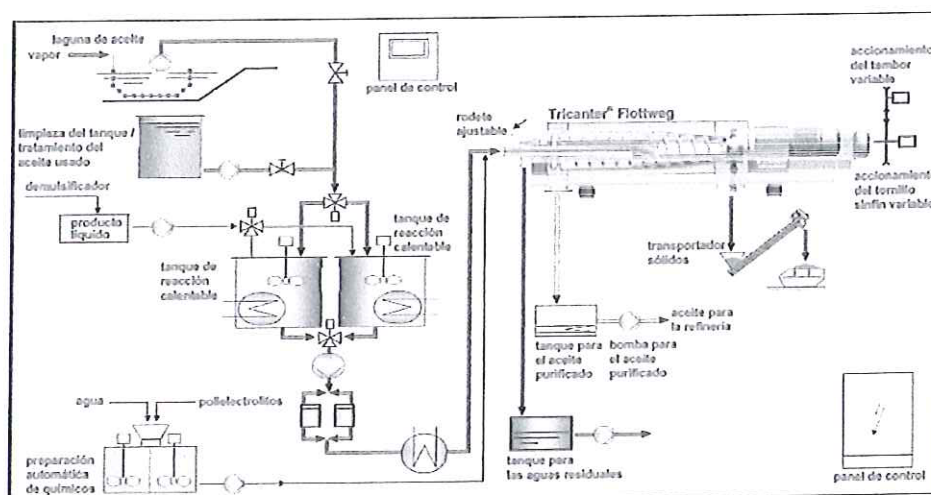


FIGURA 2.9 RECUPERACIÓN DE ACEITE PROVENIENTE DE LAGUNAS Y ESTANQUES DE SEDIMENTACIÓN

FUENTE: [20]

2.3 Manejo de residuos de Hidrocarburos

En el presente proyecto se efectuó una búsqueda sobre las normas que se utilizan para el manejo, disposición final de residuos peligrosos. Los reglamentos del Ecuador para la disposición de estos desechos se basarán en las siguientes normativas:

- NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA, LIBRO VI, ANEXO 1, La presente norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.
- El Anexo 1C SUB NORMA COMPLEMENTARIA da una visión más clara sobre los diversos métodos a seguir en la descarga de efluentes. El punto 2 de esta norma hace referencias a los términos usados en el reglamento del Ecuador a Ley de Prevención y Control de Contaminación en la Norma Técnica e Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua.

Los siguientes acuerdos son los que utilizan principalmente las gestoras ambientales, en los diversos procesos desde la recolección de residuo hasta su disposición final:

- Para el transporte, Almacenamiento y manejo de materiales peligrosos. Se hace referencia a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2266:2013 Ítems 6.Requisitos específicos de transporte, Anexo D.
- Acuerdo No. 161 Ministerio de Ambiente. Hace referencia a las disposiciones establecidas por la Constitución de la República del Ecuador, respecto al manejo de desechos peligrosos.
- Parágrafo V hace referencia a los SISTEMAS DE ELIMINACIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL DE DESECHOS PELIGROSOS Y/O DESECHOS ESPECIALES artículos más representativos Art 230, 236, 241,243.
- El Acuerdo No.26 que hace referencia a Expedir los Procedimientos para: Registro de generadores de desechos peligrosos, Gestión de desechos peligrosos previo al

licenciamiento ambiental, y para el transporte de materiales peligrosos.

Ecuador es miembro de la organización marítima Internacional-convenio MARPOL (Convención Internacional para prevenir la contaminación por los buques). Acatando las disposiciones que se puedan dar en los puertos y embarcaciones. Para ello se establece ciertos criterios de desembarque de residuos. En la Tabla 2.1 se presentan las normas de prevención para descargas de contaminantes.

TABLA 1

NORMAS DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN MARINA PARA DESCARGAS DE RESIDUOS DESDE LOS BARCOS O EMBARCACIONES(MARPOL)			
TIPOS	PROCEDENCIA	CONDICIONES PARA LA DESCARGA A LA MAR	DESTINO
AGUAS OLEOSAS	Sentinas de máquinas	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Barco navegando a más de 12 millas de la costa. ➤ Contenido en hidrocarburos < 15 ppm (*). ➤ Descarga a través de equipo separador.(bombas) 	Las aguas oleosas con más de 15 ppm. (*) se han de retener a bordo y descargarlas a puerto a una instalación autorizada.
ACEITES Y RESIDUOS DE COMBUSTIBLE Y OTROS HIDROCARBUROS	Motores principales y auxiliares, sentinas, depuradores de combustible, filtros, etc.	PROHIBIDA	Se han de retener a bordo y descargarlas posteriormente, a la llegada a puerto, a una instalación autorizada.
AGUAS SUCIAS	Lavabos, inodoros, duchas, cocinas, lavaderos, etc.	1. Descargar a más de 4 millas de la costa, si el barco dispone de un equipo para desmenuzar y desinfectar previamente el agua. 2. Descargar a más de 12 millas de la costa, si el barco no dispone del equipo mencionado en el punto 1. 3. Barco navegando a una velocidad no inferior a 4 nudos. 4. Que la descarga no produzca sólidos flotantes ni decoloración de las aguas.	Retención a bordo de las aguas que no cumple las condiciones anteriores, en un tanque adecuado, y posterior descarga a puerto a una instalación de recepción autorizada.
RESIDUOS SÓLIDOS	Restos de comidas, embalajes, envases, maderas, plásticos, bidones, vidrios, etc.	PROHIBIDO ARROJAR PLÁSTICOS DE CUALQUIER CLASE (incluso cabos de nylon o cualquier otro material plástico)	Los residuos sólidos que no se puedan arrojar a la mar, porque cumplen las condiciones anteriores, se han de almacenar a bordo y se han de descargar a la llegada a puerto a una instalación autorizada
		Nada más de pueden arrojar restos desmenuzados de comida, si el barco se encuentra a más de 12 millas de la costa más cercana.	
		ESTÁ PROHIBIDO ARROJAR RESTOS DE COMIDA SI VAN EN BOLSAS DE PLÁSTICO	

(*) ppm = Partes por millón o miligramos por litro.

FUENTE: [10]

2.4 Desarrollo Tecnológico

Como ya se había indicado en el subcapítulo 2.1 existen diversos métodos de eliminación, donde se hizo referencia a los más comunes en el medio. El uso de la adecuada tecnología amigable con el medio ambiente garantizara la no contaminación, las Tablas 2 y 3 muestran la determinación de la tecnología empleada en el estudio.

Existen factores que pueden incidir directa o indirectamente a la disposición final no adecuada de residuos de aguas de sentinas, tales como:

- Que no exista una instalación de recepción debidamente adecuada para la recolección de este tipo de residuos en los puertos
- Excesivos costos de alquiler de instalaciones para este fin
- No uso adecuado de equipos de separación de aguas oleosas en las embarcaciones
- No conocimiento adecuado de la tripulación a cargo del desalojo de este residuo
- Descarga ilegal hacia la mar

TABLA 2
MATRÍZ DE DECISIÓN DE TECNOLOGÍAS CONSULTADAS
ESTE PROYECTO

	TECNOLOGÍAS ANALIZADAS	PARÁMETRO A CONSIDERAR	OBSERVACIÓN
OPCIÓN 1	Separación por Evaporación	Sistema utilizado en algunas Gestores ambientales en nuestro medio	Combustible auxiliar recuperado del residuo para el procesos de evaporación
OPCIÓN 2	Separación por placas corrugadas	Separador por de placas corrugada	Tiempo de separación elevado
OPCIÓN 3	Separadores de aguas oleosas	Re-utilización del aceite presente para evaporación y separación final	Varía según la cantidad de hidrocarburo
OPCIÓN 4	Separación por Centrifugación	Este sistema lo utilizan generalmente las petroleras para separar el hidrocarburo del agua del residuo(Lodo)	Alto costo de equipo

TABLA 3
VALORACIÓN DE TECNOLOGÍAS CONSULTADAS

	Mantenimiento	Eficiencia	Implementación	Costo	Total
Valoración	25/25	25/25	25/25	25/25	100
Opción 1	25	18	22	20	85
Opción 2	25	15	15	20	75
Opción 3	25	17	20	20	82
Opción 4	25	23	10	25	83
*Cada parámetro ha sido valorado en 25%					

De acuerdo a la matriz, la tecnología seleccionada es la **opción 1**
Separación por Evaporación.

La particularidad de esta opción será cumplir con los objetivos de este proyecto donde se implantaron parámetros de incineración para residuos de aguas de sentinas.

CAPÍTULO 3

3 DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN (HOGAR) PARA PRUEBAS EXPERIMENTALES

3.1 Tasa volumétrica de generación de calor

El proceso de combustión puede ser definido como el conjunto de reacciones rápidas en presencia de aire dentro de un espacio confinado generalmente exotérmico.

Los elementos combustible más representativos que se queman en la cámara en presencia de oxígeno normalmente son carbono **C**, hidrógeno **H** y azufre **S**, generando calor y emitiendo luz. El quipo donde se realiza la combustión se denomina, cámara, hogar, horno incinerador.

Las principales funciones que debe de cumplir la cámara de combustión son:

- Permitir el ingreso de combustible y aire
- Apropiada mezcla de combustible y comburente
- Adecuado proceso de combustión propiamente dicho
- El espacio confinado sea tal para la cantidad de carga suministrada por el combustible más el residuo, producto a eliminar.
- Almacenamiento de energía calorífica

El aporte principal a la cámara de combustión será proporcionado por el quemador, generalmente estos varían según el tipo de combustible si es sólido (carbón), líquido (aceite), gaseoso (metano). Este es el encargado de suministrar la mezcla aire y combustible dentro de la cámara.

En este proyecto se partió del uso de un quemador de combustión (líquido-Diésel)

Otra propiedad que depende la cantidad de energía suministrada en la cámara de combustión, es el poder calorífico tanto del combustible y del residuo a incinerar.

El poder calorífico o el calor de combustión, es la energía liberada por unidad de masa o volumen del mismo, este poder calorífico está determinado en dos rangos Superior e Inferior ya que la combustión produce agua dependiendo su estado físico.

Se denomina poder calorífico inferior cuando el agua formada al final del proceso está dada en forma de vapor, y poder calorífico superior cuando el agua al final del proceso aparece como, condensado. Entonces se deduce que el poder calorífico superior es mucho mayor que en inferior en una cantidad igual al calor latente de evaporación del agua.

Haciendo una similitud para la obtención del contenido energético para la biomasa, mostrado en la ecuación (3.1), se determina el aporte de energía del residuo.

$$\text{Contenido Energetico(LHV)} = HHV(1 - Mc) - h_{fg}(Mc - X_{\text{agua-quimica}}) \quad (3.1)$$

- LHV: Poder calorífico inferior
- HHV: Poder calorífico superior
- Mc: Cantidad de agua contenida
- h_{fg} : Calor latente del agua

Un cálculo empírico para estimar el poder calórico del agua de sentinas con 65% de agua y 35% de aceite presente, se determina reemplazando en la ecuación (3.1) el poder calorífico y el calor latente de agua:

- El poder calorífico superior aproximado de los aceites residuales esta alrededor de 35 MJ/kg [4]
- Calor latente del agua $2.3 \frac{MJ}{kg}$

$$\text{Contenido Energetico}(LHV) = HHV(1 - Mc) - h_{fg}(Mc)$$

$$(LHV) = 35 \frac{MJ}{kg} (1 - 0.65) - 2.3 \frac{MJ}{kg} (0.65)$$

$$(LHV) = 14 \frac{MJ}{kg}$$

Este dato será el contenido energético (poder calorífico inferior) del residuo proporcionado.

La cantidad de agua presente en el residuo es un parámetro variable, debido a diversos factores. En este proyecto se establece esta medida para el dimensionamiento del sistema, pero puede ser tomado en consideración para una posible implementación, siguiendo esta metodología.

Para el dimensionamiento de la cámara de combustión se considera un régimen en estado estable, de esta manera la tasa volumétrica

de generación de calor será constante para un volumen determinado.

La tasa volumétrica de generación de calor es la cantidad de energía que se puede proporcionar en un determinado volumen de cámara (espacio confinado) en incineradores, ver Tabla 4.

TABLA 4	
TASA VOLUMÉTRICA DE GENERACIÓN DE CALOR	
Límite Inferior (MJ/h-m³)	Límite Superior(MJ/h-m³)
600	1300
FUENTE: [4]	

Si excede el límite superior los refractarios en la cámara comenzaran a fundirse por el excesivo calor generado.

Dentro de este rango será determinado el dimensionamiento de la cámara principal de combustión.

“Cabe indicar que estos valores pueden variar según la implementación tecnológica”³

Partiendo del requerimiento proporcionado en entrevistas a Gestores Ambientales se tiene una capacidad para el

³ PhD Alfredo Barriga.

dimensionamiento de un sistema de $100 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$ de residuo de aguas de sentinas.

En el presente estudio se trata con residuos de sentinas con contenidos del 35% de aceite y el 65% de agua, ver Tabla 5.

TABLA 5	
MUESTRA (RESIDUO DE SENTINA) $100 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$	
Aceite	35 kg/h
Agua	65 kg/h

La energía que aporta el residuo fue estimado mediante la ecuación (3.2), considerando la cantidad de agua presente que se debe de evaporar, en el proceso siguiendo el análisis de similitud de la ecuación (3.1)

$$\text{Energía del Residuo} = \text{Energía Aceite} - \text{Energía Agua} \quad (3.2)$$

La energía de residuo que se tiene disponible es la cantidad en masa aceite por el poder calorífico, menos el aporte de la energía que se debe suministrar para evaporar el agua presente, como se detalla en la ecuación (3.3).

$$\text{Energía del Residuo} = (m_{\text{aceite}} * PC) - (m_{\text{agua}} * \text{Calor latente del agua}) \quad (3.3)$$

Dónde:

- PC: $14 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$ poder calorífico de la muestra, estimada en pruebas de laboratorios
- Calor latente del agua: $2.3 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$.

Reemplazando en la ecuación (3.3):

$$\text{Energía del Residuo} = \left(35 \frac{\text{kg}}{\text{h}}\right) \left(14 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}\right) - \left(65 \frac{\text{kg}}{\text{h}}\right) \left(2.3 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}\right) = 341 \frac{\text{MJ}}{\text{h}}$$

Esta es la energía que el residuo aún puede proporcionar, el cual se ha tomado en cuenta para determinar el volumen de cámara para el proceso. La tasa volumétrica de generación de calor que requiriera la cámara de combustión para esta capacidad se estima un rango medio dentro de los límites de generación de calor volumétrico de:

$$950 \frac{\text{MJ}}{\text{h-m}^3}$$

3.2 Estimación del volumen de cámara de combustión para pruebas.

El volumen estimado para la cámara de combustión se basará en el requerimiento de energía adicional para poder llegar al promedio de la tasa de generación volumétrica de calor establecida. En la Tabla 6 se

muestran los diferentes volúmenes de cámara determinados, para distintos consumos de combustible por los quemadores y la energía adicional que entregan en el proceso.

TABLA 6				
ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE CÁMARA				
Dato Promedio de tasa volumétrica de calor(MJ/h-m ³)	Consumo (GPH)	Energía del quemador (MJ/h)	Energía Disponible(MJ/h)	Volumen de cámara estimado(m ³)
	2	277	633	0,666
950	3	415	771	0,812
	3,5	484	840	0,884
	4	553	909	0,957
	4,5	623	979	1,030
	5	692	1048	1,103
	5,5	761	1117	1,176
	6	830	1186	1,248

Esta tabla se muestra la estimación de volúmenes de cámara para un régimen de calor establecido, con diferentes consumos de combustible y aporte de energía de aguas de sentinas de $356 \frac{\text{MJ}}{\text{h}}$.

El análisis de selección del volumen de la cámara se lo determino para requerimientos de consumo de combustible de quemadores diésel que con los que se experimentó en las pruebas de campos y algunos consultados visitas técnicas, cabe indicar que si son de

otro tipo como gas, la metodología a seguir es la misma. Las propiedades solicitadas del combustible se indican en la Tabla 7.

TABLA 7		
PROPIEDADES DEL (DIESEL)		
Consumo de combustible(GPH)	ρ :Densidad(Kg/Lt)	PC: Poder Calorífico(MJ/Kg)
4	0,85	43
FUENTE:[4]		

La energía que aporta el combustible está dado por la ecuación (3.4), multiplicando el poder calorífico y el flujo másico del combustible.

(3.4)

$$Energía\ del\ quemador = PC * mf_{fuel}$$

Obteniendo el flujo másico de combustible mediante la ecuación (3,5) para un consumo de 4GPH se tiene:

$$mf_{fuel} = \frac{4gal}{h} * \frac{3.785Lt}{1gal} 0.85 \frac{kg}{Lt} = 12,869 \frac{kg}{h} \quad (3.5)$$

Con este dato se determina la energía que proporcionara el quemador para este consumo.

$$\text{Energía del quemador} = \left(12,869 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}\right) \left(43 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}}\right) = 553,367 \frac{\text{MJ}}{\text{h}}$$

(3.4)

La energía disponible está definida por la ecuación (3.5) y se la obtiene sumando la energía del quemador (3.4) más la energía del residuo (3.3).

$$\text{Energía disponible} = \text{Energía del Quemador} + \text{Energía Residuo} \quad (3.5)$$

$$\text{Energía disponible} = 553 \frac{\text{MJ}}{\text{h}} + 340 \frac{\text{MJ}}{\text{h}} = 893 \frac{\text{MJ}}{\text{h}}$$

➤ Seleccionado para valor próximo **909 MJ/kg**, como se muestra en la tabla7, para estimar el volumen de cámara requerido.

Esta será la energía que se puede suministrar en la cámara de combustión, de esta manera se obtuvieron los valores de la Tabla 7. Para un consumo máximo de 4GPH se estableció el volumen de cámara estimado mediante la ecuación (3,6) para el requerimiento 2ton/Día, aproximadamente 100kg/h de residuo a ser eliminado. La ecuación (3,6) relaciona la tasa volumétrica promedio de generación de calor que se fijó dentro de los límites implantados $950 \frac{\text{MJ}}{\text{h} \cdot \text{m}^3}$.

$$\text{Volumen de camara estimado} = \frac{\text{Tasa volumetrica-promedio}}{\text{Energía Disponible}} \quad (3.6)$$

$$Volumen\ de\ camara\ estimado = \frac{\left(\frac{909MJ}{h}\right)}{\left(\frac{950MJ}{h - m^3}\right)} = 0,957m^3$$

El volumen de cámara que se ha establecido será para el máximo valor de consumo de combustible 4 GPH, pero la cámara deberá de adaptarse para un rango entre (2- 4) GPH. Ver Tabla 8.

TABLA 8	
SELECCIÓN DEL VOLUMEN DE CAMARA PRINCIPAL DEFINIDO	
Consumo (GPH)	Volumen de cámara seleccionado (m ³)
2 - 4	0,971

El volumen de cámara se en base un régimen dentro de los límites de la tasa de generación de calor, para el cual se determinó la capacidad mínima y máxima a eliminar mostrados en la Tabla 9.

TABLA 9	
RANGO MÀX Y MIN DE ELIMINACIÓN TÉRMICA PARA EL VOLUMEN DE CÁMARA SELECCIONADA	
Límite inferior 600 MJ/h	Mínimo a eliminar de residuo (kg/h)
317	93
Límite Superior 1300 MJ/h	Máximo a eliminar de residuo (kg/h)
1017	299

Mediante los datos obtenidos en la Tabla 6 se puede estimar diversos volúmenes de cámara de combustión, como se muestra en la figura 3.1.

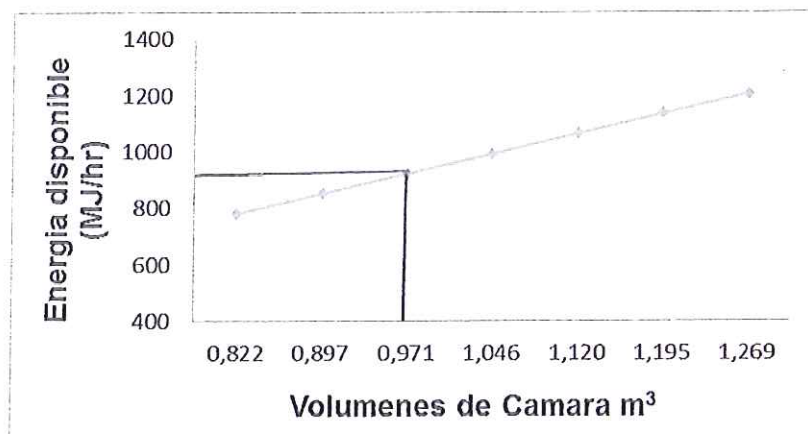


FIGURA 3.1 VOLÚMENES DE CÁMARA PARA UN RÉGIMEN DE CALOR ESTABLECIDO.

La forma de la cámara fue adaptada al sistema de incineración que se encuentra en las instalaciones del CDTs –ESPOL. El esquema muestra solo la cámara principal donde se dispersó el residuo en la prueba, figura 3.2.

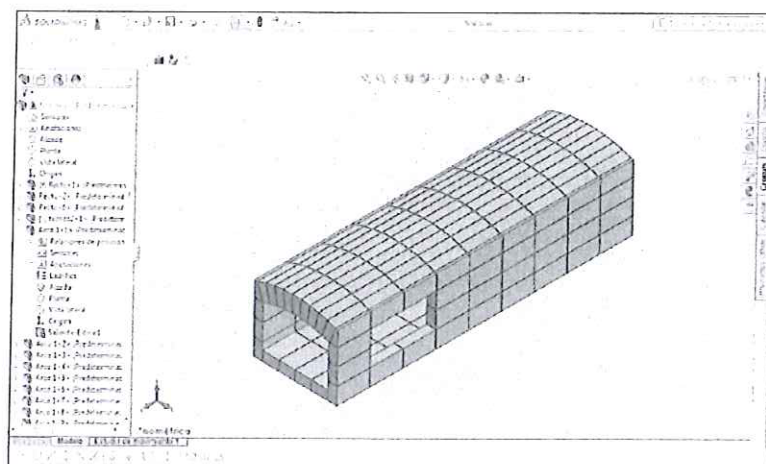


FIGURA 3.2 CÁMARA PRINCIPAL DE COMBUSTIÓN

En la figura 3.3 se muestra un sistema de incineración para desechos peligrosos.

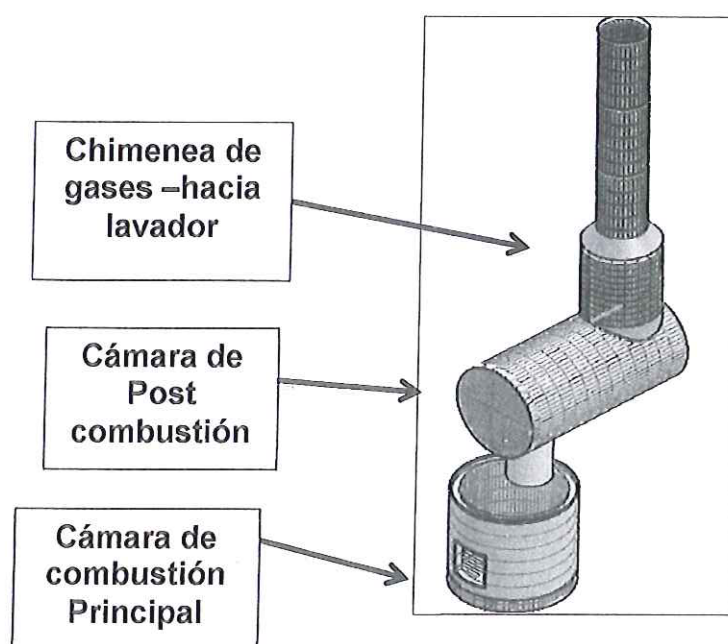


FIGURA 3.3 SISTEMA DE INCINERACIÓN PARA DESECHOS PELIGROSOS

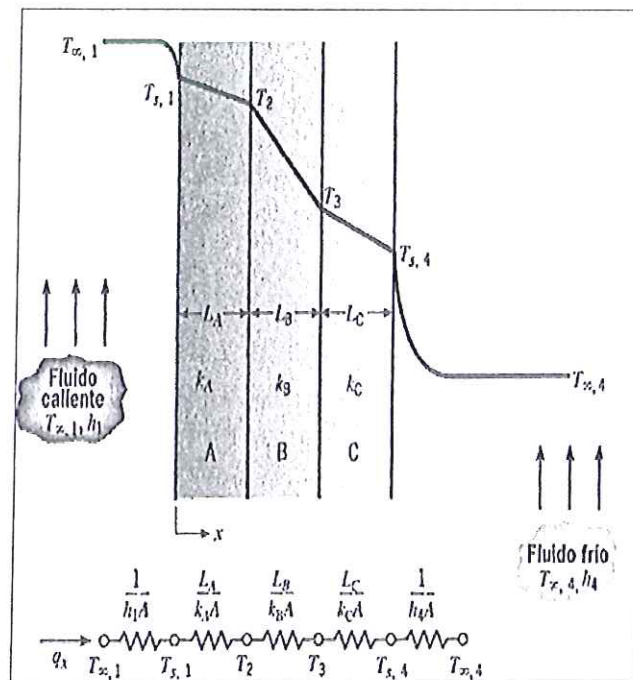
FUENTE: [17]

3.3 MASA TÉRMICA DE LA CAMARA DE COMBUSTION DE PRUEBAS

La cantidad de energía que se puede almacenar en un espacio determinado de cámara, se lo denomina masa térmica. En esta parte del proyecto se ha fijado cuanta energía gana la cámara, y como el calor generado se propaga por las paredes.

Dentro de una de las condiciones fluido-dinámicas se tiene que la llama que se generará en la cámara debe de estar en régimen turbulento ($Re > 2500$), de esa manera se mejora la estabilidad dentro del hogar. Se establece conducción unidimensional para estado estable, mediante el modelo térmico de pared compuesta.

“Estas paredes incluyen cualquier número de resistencias térmicas en serie y en paralelo debido a Capas de diferentes materiales”



**FIGURA 3.4 MODELO DE TRANSFERENCIA DE CALOR
PARA PARED COMPUESTA**

FUENTE: [7]

La transferencia unidimensional de calor para este sistema se expresa como. El calor que se puede transferir por capas de espesor de paredes como la sumatoria de todas las resistencias térmicas, como se muestra en la ecuación (3.7).

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,4}}{\sum R_t} \quad (3.7)$$

Donde $T_{\infty,1} - T_{\infty,4}$ es la diferencia total de temperatura, Por tanto, el calor unidimensional definido por la ecuación (3.8) será:

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,4}}{\left[(1/h_1 A) + (L_A/k_A A) + (L_B/k_B A) + (L_C/k_C A) + 1/h_4 A \right]}$$

Con sistemas compuestos suele ser conveniente trabajar con un coeficiente global de transferencia de calor, U , que se define con una expresión análoga a la ley de enfriamiento de Newton.

$$q_x = UA\Delta T \quad (3.8)$$

$UA = \frac{1}{R_{\text{total}}}$ (3.9) El coeficiente de transferencia de calor se relaciona para pared compuesta.

Con este análisis se determinó la transferencia de calor unidimensional que se da por las paredes de la cámara. Ver figura 3.5.

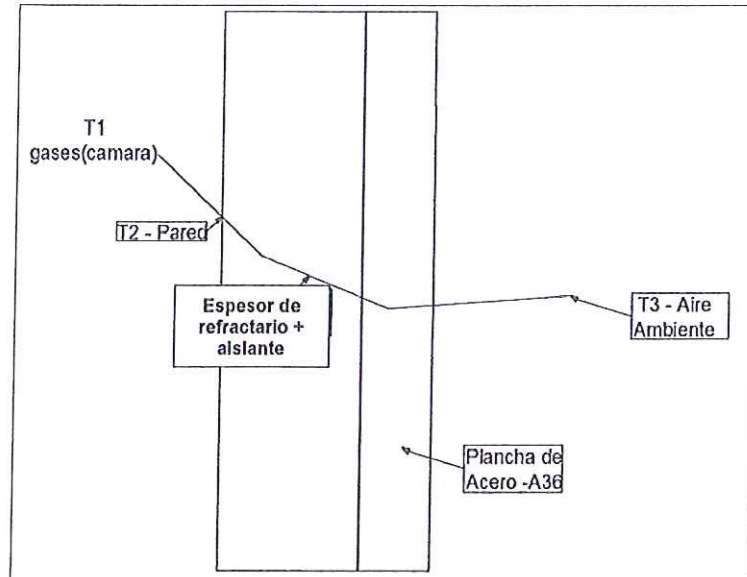


FIGURA 3.5 MODELO COMPUESTO DE DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA EN LAS PAREDES DE LA CÁMARA PRINCIPAL

La configuración de la cámara principal donde se realizaron las pruebas experimentales de campo, se muestra en la figura 3.6

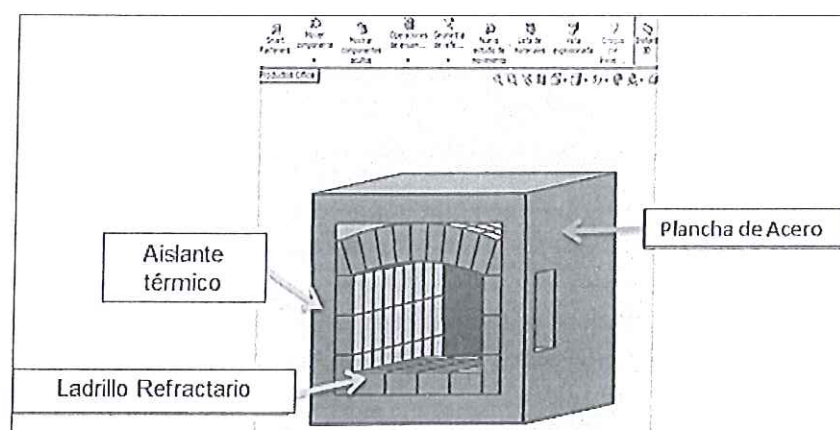


FIGURA 3.6 ESQUEMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO EN CÁMARA DE COMBUSTIÓN PRINCIPAL

La cámara de combustión principal de pruebas tiene la siguiente configuración ver figura 3.7.

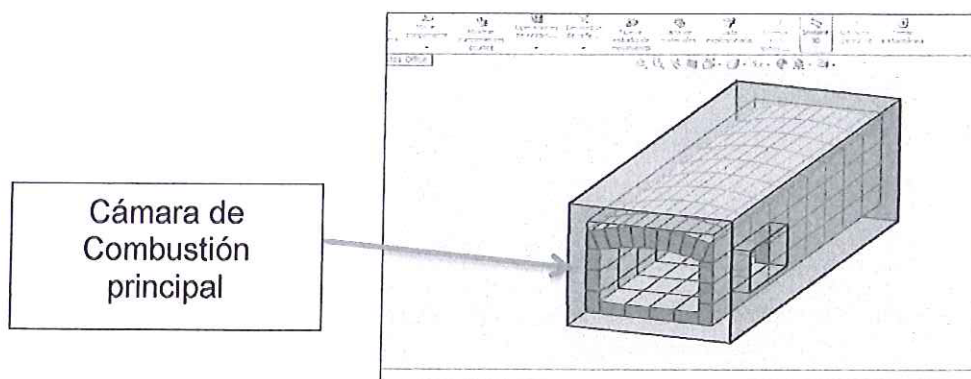


FIGURA 3.7 CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE PRUEBAS

El calor unidimensional que la cámara puede transferir está regido por las siguientes temperaturas de operación mostrados en la Tabla 10. La temperatura de los gases se obtuvo midiéndola en el interior de la cámara en un régimen constante, cuando ya se encuentra estable.

TABLA 10	
TEMPERATURAS OBTENIDAS EN PRUEBAS DE CAMPO	
T1-Temperatura de gases – llama (K)	T3-Temperatura externa Ambiente (K)
1173	303
FUENTE: [20]	

Para determinar la energía que se transfiere se asume convección forzada en el interior de la cámara producida por los gases de combustión. Para luego establecer el flujo de calor que se transmite; los coeficientes de convección estimados, para determinar el flujo de calor se muestran en la Tabla 11.

TABLA 11	
VALORES TÍPICOS DE COEFICIENTE DE TRASFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN	
Convección forzado	H (W/m² - K)
Gases	25 - 250
Convección Libre	H (W/m² - K)
Aire	2- 25
FUENTE: [7]	

El coeficiente para convección Libre seleccionada para el exterior

de la cámara $10 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

El coeficiente para convección forzado total, está definido por el coeficiente de calor por la pared interior, más el coeficiente irradiado determinado por la ecuación (3.10)

$$ht = hc + hr \quad (3.10)$$

Donde **hc** es el coeficiente convectivo presente en la pared interior, y **hr** es coeficiente convectivo irradiado.

El calor por radiación expresado en sus dos formas, por medio de las ecuaciones (3.11) y (3.12) para determinar el coeficiente

$$(3.11)$$

convectivo irradiado hr (Coeficiente convectivo de radiación) se presenta a continuación:.

$$q_{rad} = \varepsilon \sigma (T_g^4 - T_p^4) \quad (3.11)$$

$$q_{rad} = hr(T_g - T_p) \quad (3.12)$$

Igualando la ecuación (3,11) con (3,12), y despejando hr se obtiene la ecuación (3,13).

$$hr = \frac{\varepsilon \sigma (T_g^4 - T_p^4)}{T_g - T_p} \quad (3.13)$$

Dónde:

- $\sigma = 5.76 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$; es la constante de Stefan Boltzmann.
- ε ; Es una propiedad radiativa de la superficie denominada emisividad. Con valores $0 \leq \varepsilon \leq 1$; característica con que una superficie emite energía en relación con un cuerpo negro, depende del tipo de superficie, etc. En este proyecto se ha seleccionado 0.6.
- T_g ; Temperatura del gas en el interior de la cámara
- T_p ; Temperatura de la pared exterior.

Determinando el coeficiente de radiación se tiene:

$$hr = \frac{(0.6)(5.76 \times 10^{-8})(1173^4 - 1171^4)}{(1173 - 1171)} = 216 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (3.13)$$

Se asume régimen turbulento por la naturaleza de la llama del quemador principal, tiene:

$$h_c = 25 \frac{W}{m^2 \cdot K} \text{ Coeficiente convectivo de la pared interior }^4$$

El h_t total seleccionado para el h_c de convección y h_r radiación convergió a $h_t \approx 241 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

$$h_t = h_c + h_r \quad (3.10)$$

$$h_t = 25 \frac{W}{m^2 \cdot K} + 216 \frac{W}{m^2 \cdot K} \approx 241 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Encontrándose en los parámetros para convección forzada en régimen turbulento para gases en el interior de la cámara de combustión.

Con estos parámetros establecidos se procede a calcular el calor unidimensional trasferido, se estima la temperatura en la pared refractaria en el interior de la cámara. Ver Tabla 12.

⁴ W. Trinks. Furnaces Industrial. Cap.2 (Trinks, 2004)

TABLA 12		
ESPESORES DE DISTINTO MATERIALES QUE FORMAN LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN PRINCIPAL (PARED)		
Medio	Espesor del medio (m)	K-Conductividad térmica (W/m.K)
Refractario	0.066	1.3
Plancha de acero A36	0,04	52
Lana aislante	0.0635	0.0375

Determinado el calor que se transmite unidireccionalmente aplicando la ecuación (3.8) antes descrita tenemos:

$$\frac{q_x}{A} = \frac{T_1 - T_3}{\frac{1}{h_t} + \frac{L}{K_r} + \frac{L}{K_l} + \frac{L}{K_a} + \frac{1}{h_2}} \quad (3.8)$$

$$\frac{q_x}{A} = \frac{(1173 - 303)K}{\left(\frac{1}{241 \frac{W}{m^2 \cdot K}} + \frac{0.066 m}{1.3 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{0.04 m}{52 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{0.0635}{0.0375 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{1}{10 \frac{W}{m^2 \cdot K}} \right)} = 472 \frac{W}{m^2}$$

Realizando un balance de energía alrededor de la pared refractaria y la llama Entre el flujo (gases) en el interior de la cámara se obtuvo la ecuación (3.11).

$$\dot{E}_{entra} = \dot{E}_{Sale} \quad (3.13)$$

La energía que sale está representada por $\dot{E}_{pared} = h_t(\Delta T)$ (3.14)

Igualando la ecuación (3.14) y (3.8), y reemplazando el h_t (3.10) convectivo determinado, despejando la diferencia de temperaturas se tiene:

$$\Delta T = \frac{\left(\frac{q_x}{A}\right)}{h_t} \quad (3.15)$$

$$\Delta T = \frac{472 \frac{W}{m^2}}{241 \frac{W}{m^2}} = 1.9 \approx 2$$

Este parámetro es la variación de temperatura con respecto a los gases en la cámara, se la expresa de la siguiente forma.

$$\Delta T = T_g - T_{p-interna} \quad (3.16)$$

$$T_{p-interna} = T_g - \Delta T$$

$$T_{p-interna} = 1173 - 2 = 1171 \text{ K}$$

Temperatura estimada en la pared interior de la cámara. $1171 \text{ K} \equiv 898^\circ\text{C}$

3.3.1 Espesor de paredes

Las paredes que conforman el cuerpo del incinerador están formadas por el refractario, lana de roca aislante, lamina de acero A36 localizada en la parte exterior.

Se ha determinado como la temperatura exterior varía según el espesor de aislamiento térmico la aislante que será colocado alrededor de la cámara.

Igualando el calor unidimensional que se transfiere dada mediante la ecuación (3.8) con el calor perdido mostrado en la ecuación (3.17), se estima la temperatura de la pared exterior de cámara que forma la lámina de acero. Por seguridad la temperatura deberá estar alrededor de 60°C.

$$Q_{\text{calor transferido}} = Q_{\text{perdido}}$$

$$\frac{q_x}{A} = h_{t-\text{exterior}}(\Delta T_{\text{externo}}) \quad (3.17)$$

Dónde:

$$\gg h_{t-\text{exterior}} \text{ total, se estima alrededor de } 15 \frac{W}{m.k}$$

Despejando $\Delta T_{\text{externo}}$ se obtiene:

$$\Delta T = \frac{\left(\frac{q_x}{A}\right)}{h_{t-\text{exterior}}} = \frac{472 \frac{W}{m^2}}{15 \frac{W}{m}} = 32 \quad (3.18)$$

Expresando la variación de temperatura y considerando la temperatura ambiente ($T_a \approx 26^\circ\text{C}$) se obtiene:

$$(3.19)$$

$$\Delta T = T_{p-exterior} - T_a$$

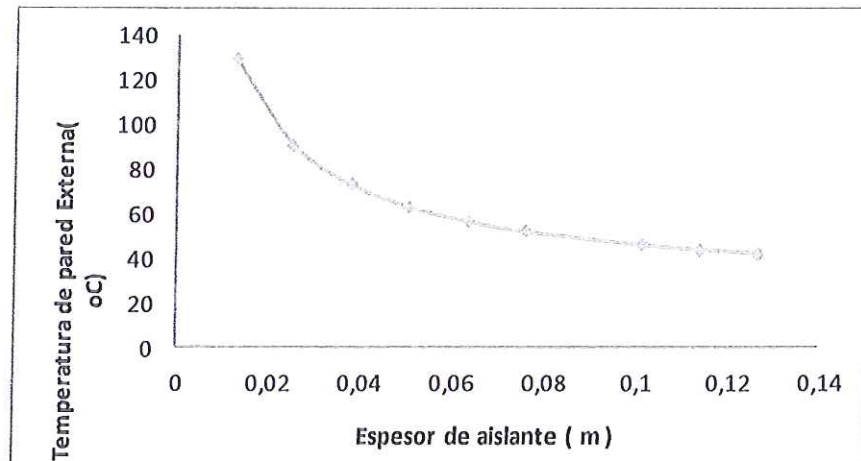
$$T_{p-exterior} = \Delta T + T_a$$

$$T_{p-exterior} = 32 + 299 = 331 \text{ K}$$

La temperatura estimada exterior para el espesor de aislante térmico (lana de roca seleccionada), ver figura 3.8, el espesor de aislante escogido es $e \approx 0,0635\text{m}$. La temperatura exterior de la pared estaría aproximadamente a 58°C .

En la Tabla13 se muestra como varia la temperatura para diferentes espesores de aislante térmico, y parámetros que se deben considerar para la implementación del proyecto.

TABLA 13		
VARIACION DE LA TEMPERATURA EXTERIOR		
Espesor del aislante (m)	Calor Transferido $\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right)$	Temperatura de pared exterior – media ($^\circ\text{C}$)
0,0127	1556	130
0,0254	969	91
0,0381	704	73
0,0508	552	63
0,0635	455	56
0,0762	386	52
0,1016	297	46
0,1143	266	44
0,127	241	42



**FIGURA 3.8 TEMPERATURA EXTERIOR VS AISLANTE
TÉRMICO**

3.4 Tipo de parrilla

El Tipo de parilla que se ha dimensionado, será adaptado para las partículas dispersadas en el interior de la cámara que no alcanzan a quemarse en suspensión, se las recolectara en la parrilla, para su eliminación su vez retirar las cenizas que el residuo pueda generar.

Muchos sistemas de incineración requieren indispensablemente de una parrilla para poder retirar las cenizas del material o residuo que se queme en cámara. Los tipos de parrillas utilizados comúnmente son:

Tipos de parrillas:

- Móvil
- Fija desmontable

Las parrillas móviles se las suele utilizar en industrias que manipulan biomasa para proceso de generación eléctrica, o secado.

Las parrillas fijas funcionan de manera que la biomasa o residuo que se quema lo hace en suspensión con flujo de aire dentro de la cámara muchas veces insuflado desde la base de la cámara o por la parrilla.

Estos sistemas mencionados deberán permitir el retiro adecuado de cenizas o remover el residuo para que se queme bien. Ver figura 3.9 y 3.8.

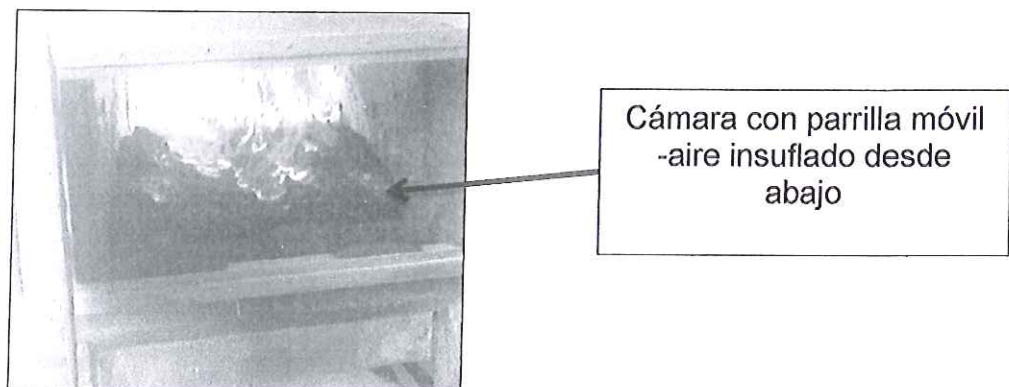


FIGURA 3.9 HORNO DE SECADO

Fuente: [18]

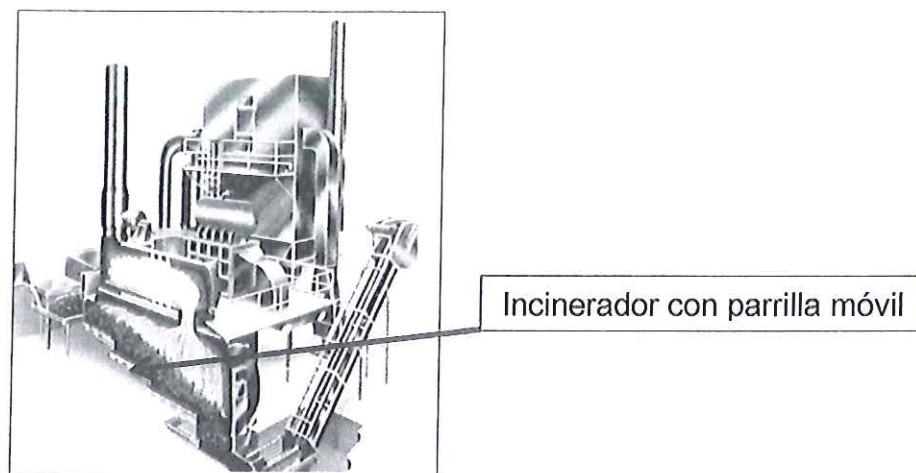


FIGURA 3.10 HORNO DE SECADO PARRILLA MÓVIL

FUENTE: [5]

La parrilla seleccionada, se puede presentar de esta forma dentro de cámara, sin embargo se pueden adaptar diferentes configuraciones para el requerimiento que se quiera.

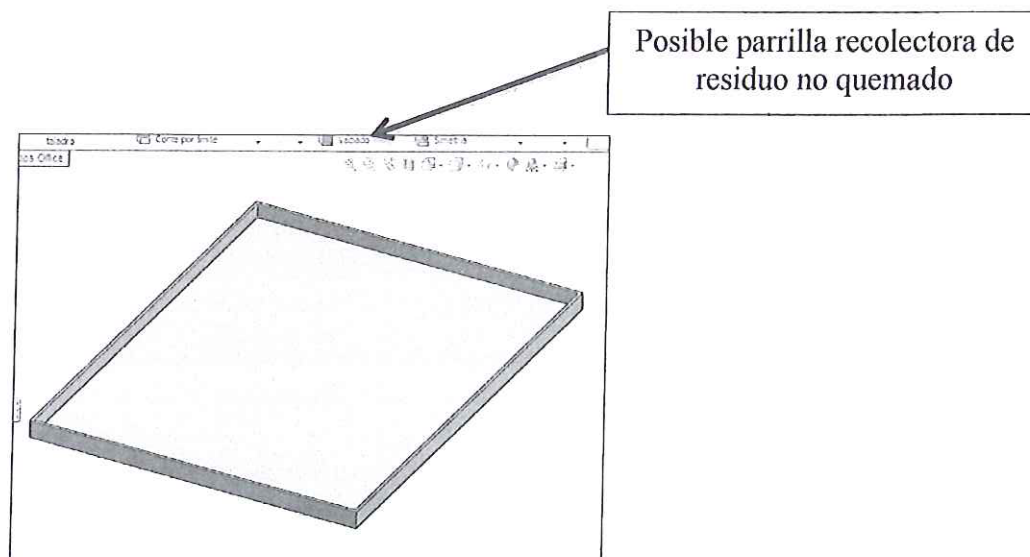


FIGURA 3.11: PARRILLA RECOLECTORA DE RESIDUO NO QUEMADO

CAPÍTULO 4

4 SISTEMA DE DISPERSIÓN

4.1 Opciones de ingreso de fluido en cámara de combustión

La muestra suministrada en este proyecto ha sido previamente filtrada. Las opciones que se presentaron para poder dispersar este residuo de aguas de sentina en la cámara de pruebas fueron las siguientes:

- El residuo (con excesiva sedimentación) será colocado en una parrilla para incinerar el contenido de aceite presente
- El residuo con filtrado fino menor a 15ppm se lo pudo dispersar previo a precalentarlo para evitar que se tupa la boquilla de dispersión
- La dispersión deberá de ser controlada según el régimen de trabajo establecido para la cámara de combustión

La siguiente figura 4.1 muestra la metodología empleada en la dispersión del residuo.

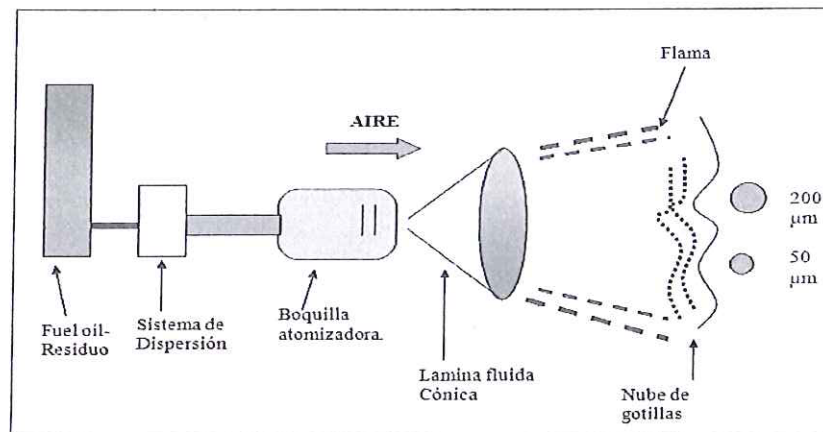


FIGURA 4.1 ESQUEMA DE DISPERSIÓN DE RESIDUOS DE HIDROCARBURO.

FUENTE: [3]

El tipo de cámara que se implantó para dar paso a la eliminación térmica del residuo de aguas de sentina, se muestra en la figura 4.2, catalogando a este tipo de cámara de inyección líquida.

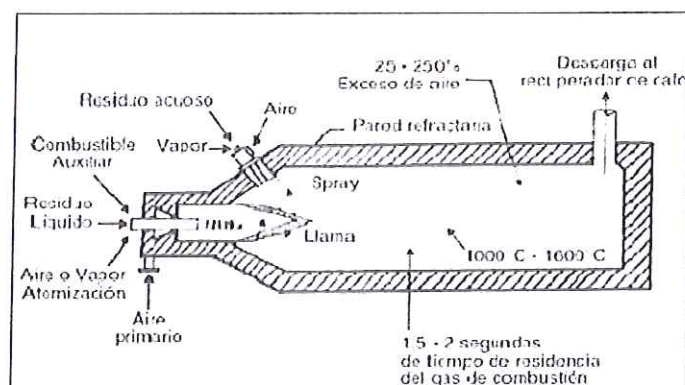


FIGURA 4.2 CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE INYECCIÓN LÍQUIDA

Fuente: [5]

4.2 Parámetros que afectan la dispersión

Uno de los desafíos de este proyecto es ver la manera de dispersar en forma eficiente. Los parámetros más notorios que se identificaron fueron:

- Pre filtración
- Homogeneidad y precalentamiento previo del residuo
- Boquillas de dispersión
- Sistema de bombeo para dispersión

Pre filtración

El pre filtrado se debe dar de tal manera que no se logre obstaculizar las boquillas de dispersión y el sistema de bombeo. El sistema separador a bordo de las embarcaciones, visto en el subcapítulo 2, realizará el filtrado preliminar de estos residuos para luego ser bombeados hacia los tanqueros recolectores.

Homogeneidad y Precalentamiento previo

En esta prueba se pudo notar que el residuo proporcionado aún se encuentra con partículas (sedimentos) de hidrocarburos que usualmente forman lodos, para esto se ha dispuesto a precalentar el residuo antes de ser dispersado en la cámara de pruebas.

La homogeneidad del residuo se lograra con la agitación dada en el sistema de pruebas, obtenida por la recirculación del régimen de bombeo.

Boquillas de Dispersión

Las boquillas de dispersión son las que utilizan algunas de las empresas visitadas que se encargan a la reutilización o incineración de residuo de aguas de sentina.

Las boquillas de dispersión usadas en la ejecución de este proyecto fueron seleccionadas según el caudal que sería disperso estuvo alrededor de $0.625 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$ para una presión de 20 psi en la prueba. Pueden operar en mayores rangos de presión y capacidad de descarga para el requerimiento de 100kg/hr en la cámara dimensionada

Boquilla 1

Esta boquilla seleccionada disperso residuo en el lado lateral de la cámara, el diámetro nominal tiene 0.685mm, y un diámetro máximo de paso de 0.508mm, ver figura4.3.

Body Inlet Conn. (in.)	Capacity Size	Orifice Dia. Nom. (in.)	Max. Free Passage Dia. (in.)	Capacity (gallons per minute)*											Spray Angle (°)*		
				5	7	10	20	30	40	60	80	100	150	7	20	60	
1/4	.3	.020	.016	—	—	—	.041	.050	.057	.063	.073	.087	.10	—	50	61	
	.4	.022	.018	—	—	—	.055	.066	.076	.091	.10	.12	.14	—	56	63	
	.5	.024	.020	—	—	—	.069	.083	.095	.11	.13	.14	.17	—	56	63	
	.6	.027	.020	—	—	—	.083	.099	.11	.14	.16	.17	.21	—	54	62	
	.7	.030	.020	—	—	—	.096	.12	.13	.16	.18	.20	.24	—	54	63	
	1	.036	.025	—	—	—	.14	.17	.19	.23	.26	.29	.35	—	58	63	
	2	.047	.040	—	—	.20	.28	.33	.39	.45	.52	.58	.70	—	50	46	


FIGURA 4.3 BOQUILLA DE PRUEBA 1

FUENTE: [13]

Al utilizar esta boquilla se presentaron problemas de obstrucción debido a partículas de lodos que aún no se encontraban disueltas en el residuo. La presión en la que poder operar está en un rango: de 5psi-150psi.

Boquilla 2

El diámetro nominal de la segunda boquilla seleccionada es de 1.6mm, ver figura 4.4, y el diámetro máximo de paso es de 1mm, donde se dispersó aproximadamente $(0.122 \frac{\text{gal}}{\text{min}})$, y el rango de presión en la cual trabaja la boquilla de dispersión es de: 6psi – 90psi.



Body Inlet Conn. (in.)	UriJet Tip Type		Capacity Size	Orifice Dia. Nom. (mm)	Max. Free Passage Dia. (mm)	Capacity (liters per minute)*										Spray Angle (°)*		
	TG-W	TH-W				0.4	0.5	0.7	1	1.5	2	3	4	6		0.4	0.7	6
1/8, 1/4	0	0	2.6W	1.6	1.0	.83	.91	1.1	1.3	1.5	1.7	2.1	2.4	2.9	–	120	102	
	0	0	4.5W	2.0	1.0	1.3	1.4	1.6	1.9	2.3	2.7	3.2	3.7	4.4	–	120	102	
	0	0	5.6W	2.4	1.0	1.7	1.8	2.1	2.5	3.0	3.5	4.2	4.8	5.7	–	120	102	

FIGURA 4.4 BOQUILLA DE PRUEBA 2

FUENTE: [13]

Sistema de bombeo para dispersión

Para poder dispersar este tipo de residuos se requiere una bomba que pueda transportar residuos viscosos que tienen sedimentos.

En una de las empresas consultadas se pudo notar que poseían un sistema de dispersión con bomba neumática para el proceso. Figura

4.5



FIGURA 4.5 BOMBA NEUMÁTICA DE DOBLE DIAFRAGMA DE DISPERSIÓN

FUENTE: [17]

La particularidad de este sistema consultado es que no cuenta con retorno de residuo cuando se presuriza toda la línea de dispersión. Implicaría a estar dispersando para una boquilla similar al que se utilizó en las pruebas de este proyecto ya que el diámetro de salida es 5 veces más grande una cantidad de $1.65 \frac{\text{galons}}{\text{min}}$ para una presión de 30psi, teniendo un excesivo calor generado en la cámara de combustión principal, pudiendo dañar las boquillas de dispersión, ver figura 4.6.

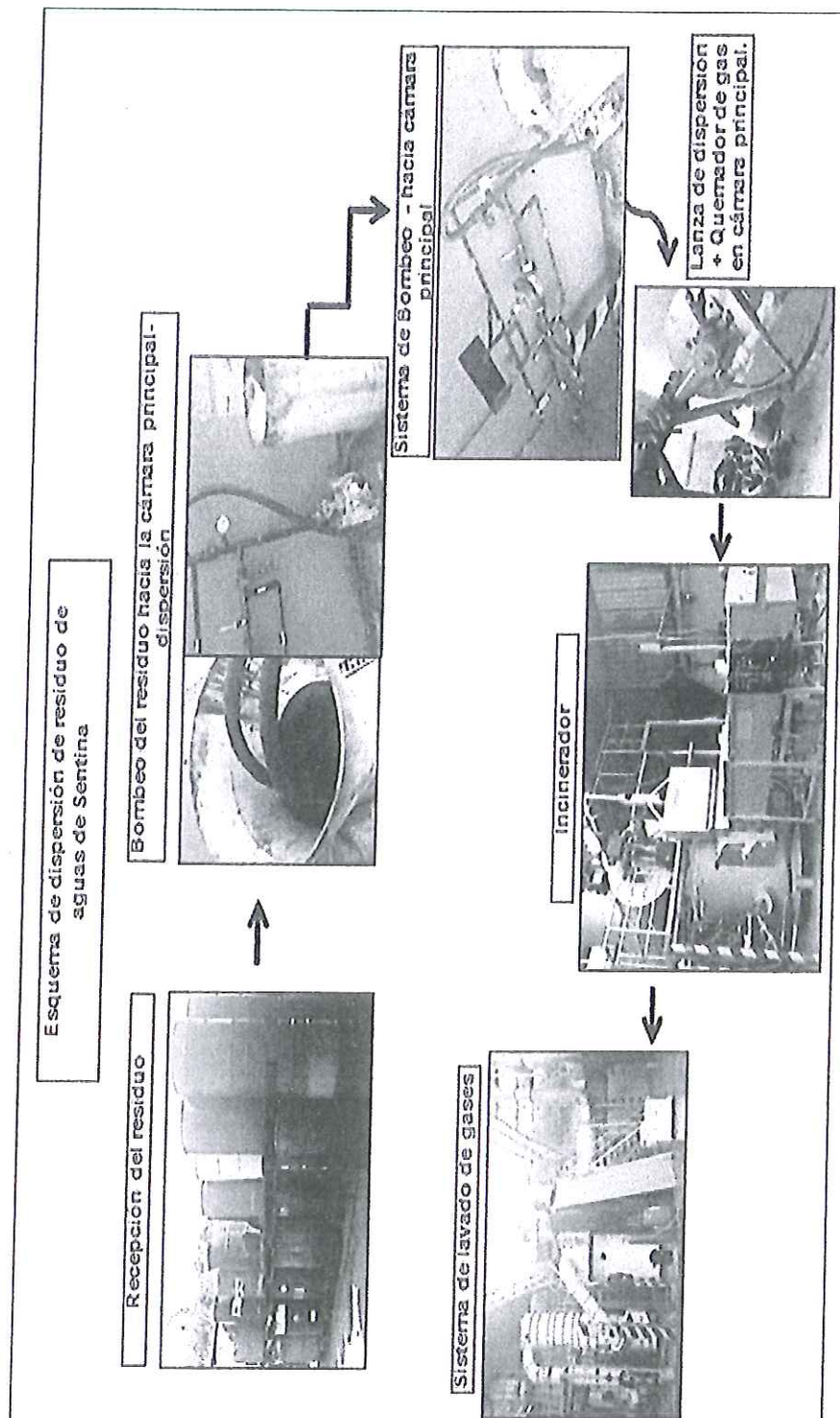


FIGURA 4.6 ESQUEMA DE DISPERSIÓN DE RESIDUO DE AGUAS DE SENTINA

FUENTE: [17]

EL Sistema de dispersión previsto en este proyecto cuenta con una bomba convencional centrífuga de 0.5Hp con lo cual se logró una presión de operación de 20psi, rango pudiera operar sin problema. La boquilla de dispersión empleada.

4.3 Materiales y accesorios para pruebas

La realización de las pruebas experimentales de campo se hizo en las instalaciones del CDTs-Espol, utilizando el incinerador de pruebas de desechos peligrosos, debido a que su cámara de combustión se encontró dentro de los parámetros y dimensiones del requerimiento en este proyecto. Los equipos utilizados fueron:

Para el Sistema de dispersión

Bomba de rotor genera la presión y a su vez la recirculación en el tanque de almacenamiento. Ver figura 4.7

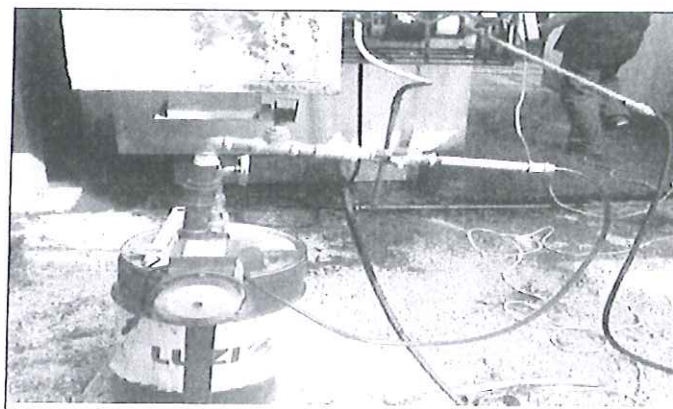


FIGURA 4.7 SISTEMAS DE DISPERSIÓN PARA PRUEBAS EXPERIMENTALES DE CAMPO.

Precalentamiento previo a la dispersión se lo realizó hasta 70°C para evitar que se atasque la boquilla de dispersión, por alguna partícula de lodo de hidrocarburo presente.

La lanza de dispersión utilizada tiene se pudo colocar dentro de la cámara, paralela a la llama del quemador principal, pudiendo dispersar el residuo, ver figura 4,8.

La boquilla de dispersión conforma la lanza de dispersión la cual era de acero inoxidable para soportar la temperatura en cámara (800°C).



FIGURA 4.8 LANZA DE DISPERSIÓN EN CÁMARA DE COMBUSTIÓN.

FUENTE: [19]

Mediciones de Temperatura

Termocuplas tipo K

Con Las termocuplas tipo k, se censo la temperatura en la cámara principal, estableciendo parámetros de incineración en el cual se combustiona el residuo. Además se pudo obtener la curva de operación de la cámara del horno determinando el tiempo en que se estabiliza y llega a su temperatura óptima. Ver figura 4.9

El funcionamiento de la termocuplas está dado por dos cables de diferentes materiales de cobre y níquel donde se unen en la punta y formar el termopar enviando una señal en milivoltios que es excitado por la temperatura que estas captan del medio.

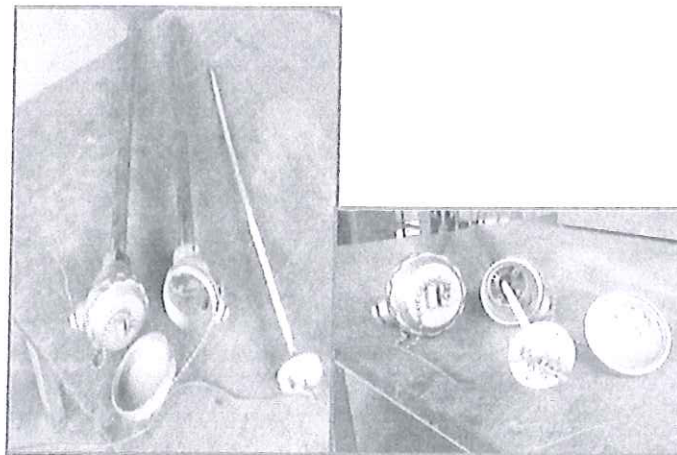


FIGURA 4.9 Termocuplas

Pirómetro

Con el pirómetro se tiene una evaluación de las zonas calientes en la operación. Cuando deja de operar el horno se controla la temperatura en la cámara, evitando que el calor generado en la cámara de post combustión no se extienda a la primera cámara y migre hacia el quemador causando daños en la boquilla o el sistema eléctrico al llegar al equilibrio térmico. Es por eso que primero se corta el suministro de

combustible, dejando el blower encendido hasta que el horno este por los 200°C así no exista algún daño.

Termómetros electrónicos de termopar

Los termómetros electrónicos de termopar captan el efecto termoeléctrico, en la termocuplas mostrando en pantalla la temperatura generada en el interior de la cámara.

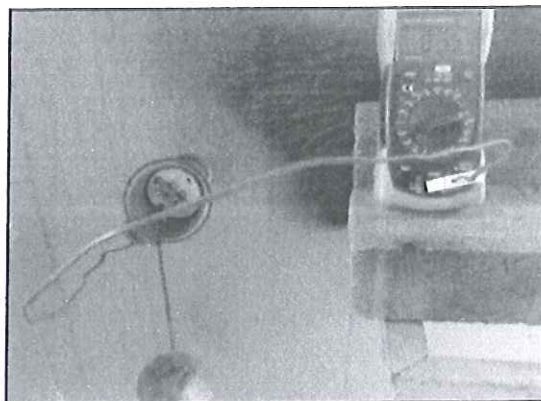
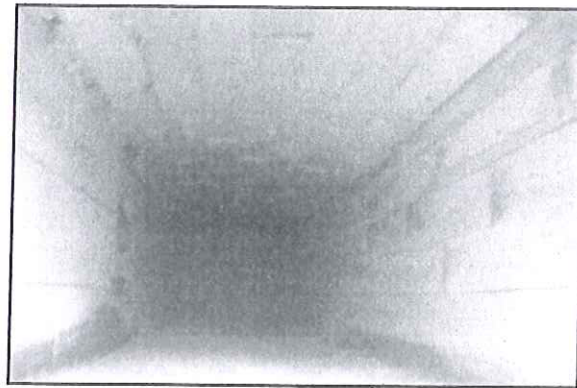


FIGURA 4.10 TERMÓMETROS ELECTRÓNICOS DE TERMOPAR

Cámara de Combustión

La cámara de combustión principal formada por los ladrillos refractarios contiene la energía que se genera por el combustible y el residuo disperso. Ver figura 4.11



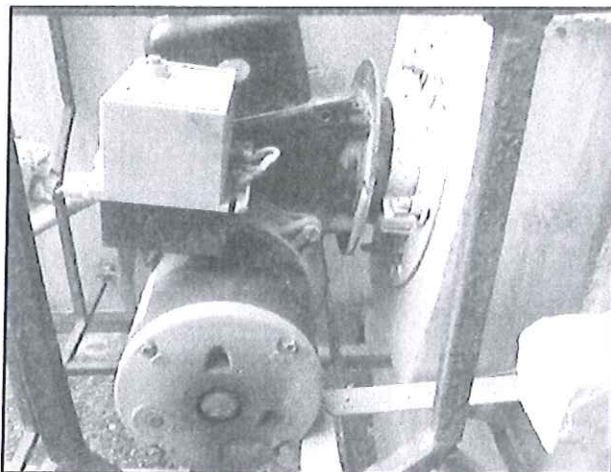
**FIGURA 4.11 CÁMARA DE COMBUSTIÓN PARA PRUEBA
EXPERIMENTALES DE CAMPO**

FUENTE: [19]

Quemador

El quemador que se determinó según el volumen de cámara operara en un rango de 2 GPH, ver figura 4.12. La llama del quemador actúa como llama piloto siempre deberá de estar encendida, para evitar contra llama si el residuo disperso no se auto inflame.

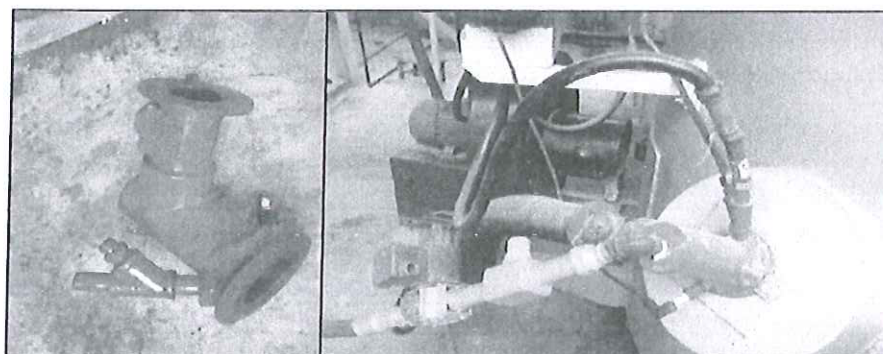
Si la cámara requiere energía adicional, para el parámetro establecido de $100 \frac{\text{kW}}{\text{h}}$ se deberá de emplear un segundo quemador de 2GPH llegando a la máxima capacidad de aporte de energía cuando está a 4GPH de combustible.



**FIGURA 4.12 QUEMADOR UTILIZADO EN PRUEBAS
EXPERIMENTALES DE CAMPO.**

FUENTE: [19]

En las visitas técnicas efectuadas en este proyecto se observó el uso de quemadores a gas en el proceso de incineración. Ver figura 4.13



**FIGURA 4.13 QUEMADORES DE GAS, VISITA A GESTORA
AMBIENTAL**

FUENTE: [17]

4.4 Esquema de Operación

La dispersión dentro de la cámara de combustión se da una cuando la temperatura interior es estable en un rango de 800°C - 900°C . La secuencia de la prueba fue elaborada de la siguiente manera: Ver figura 4.14.

- Se bombea el residuo de Aguas de sentina desde el tanque reservorio, a una presión de 20psi que se será la presión de trabajo de la línea del sistema para dispersar.
- El Orificio de boquilla emite láminas cónicas de residuo de agua de sentina donde se dará la combustión con aporte de llama del quemador principal.
- El quemador Diésel Utilizado en la prueba ha sido adaptado para obtener mayor aire de entrada debido a la cantidad de agua presente, y la viscosidad del residuo que se está quemando. Las partículas dispersas chocan con la llama del quemador y con el aire de entrada, fracturándolas, para que se logren evaporar (combustión) en suspensión.
- El residuo disperso pre-filtrado se estima en un rango de Nubes de partícula (diámetro entre $10\text{ }\mu\text{m}$ a $300\text{ }\mu\text{m}$) donde se mezclan con aire y enfrente de llama.

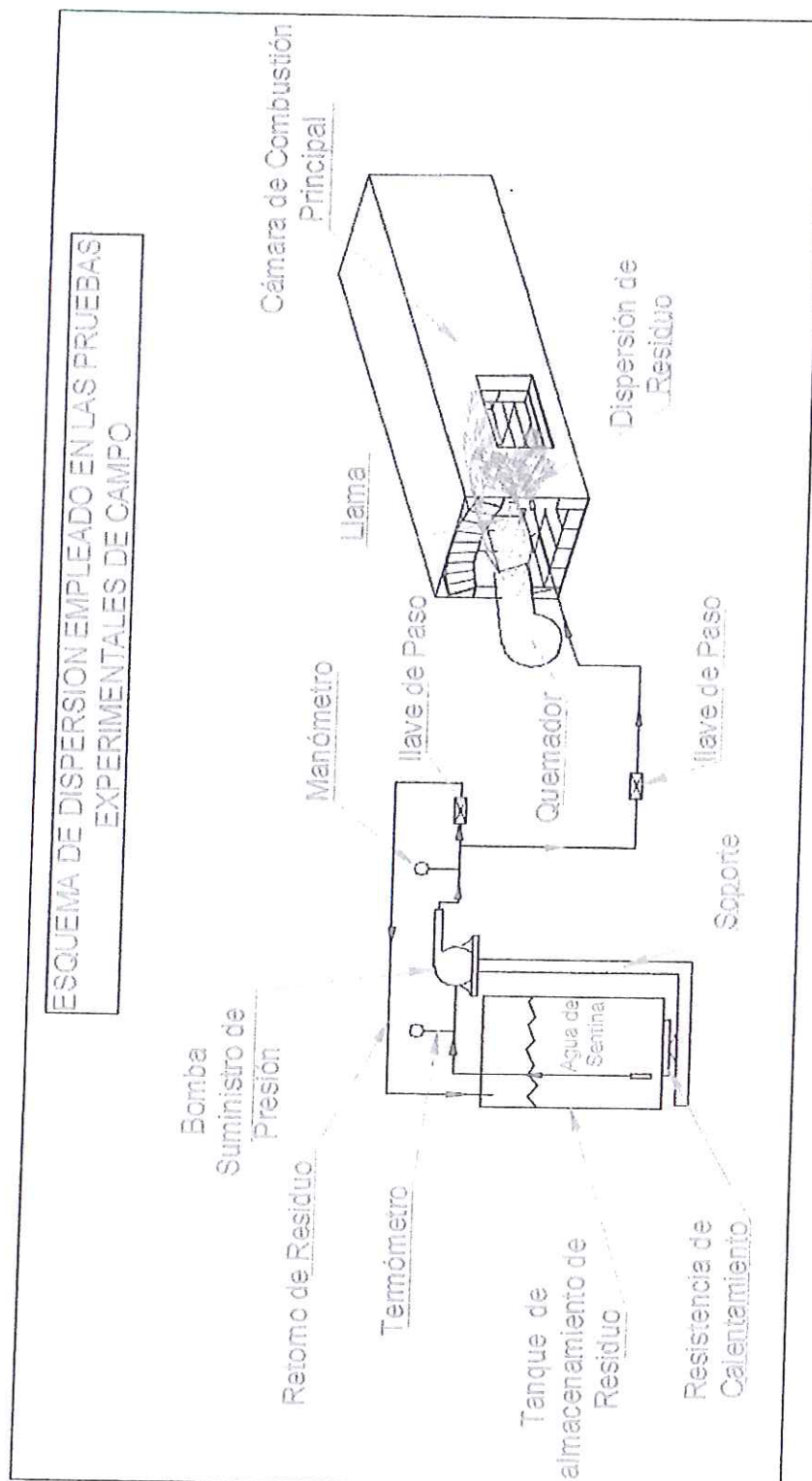


FIGURA 4.14 ESQUEMA DE DISPERSIÓN EMPLEADO EN LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES DE CAMPO

CAPÍTULO 5

5 PRUEBAS DE CAMPO

5.1 Estimación de la viscosidad del residuo

La viscosidad de residuo estimado mediante pruebas de laboratorio, mediante un banco de capilares, ver figura 5.1, determinando el rango en que se encuentra esta mezcla oleosa, siguiendo la norma (ASTMD – 445).

El resultado obtenido a partir de este método de ensayo depende del comportamiento de la muestra (concentración). Los valores bajo ciertas condiciones exhiben un comportamiento no newtoniano, para aceites combustibles residuales.

La característica de la viscosidad del residuo afectara la formación de las gotillas de dispersión en la cámara y una serie de factores más

como la tensión superficial de las gotas, debido a que la muestra puede no estar bien mezclada, la temperatura, los contaminantes presentes en el residuo pueden presentarse como líquidos no miscible. Toda esta serie de variables va más allá del estudio realizado.



FIGURA 5.1 BANCO DE CAPILARES PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD LABORATORIO DE PETRÓLEO

FUENTE: [8]

La viscosidad fue:

➤ $\nu = 610.8 \text{ cStv}$; A una temperatura de 40°C .

$$\nu = 610.8 \text{ cSt} * \frac{10^{-6}}{1 \text{ cSt}} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{seg}}$$

$$v = 6.108 \times 10^{-4} \frac{m^2}{seg}$$

La figura 5.2El muestra viscosidades para diferentes tipos de Fluidos y temperaturas

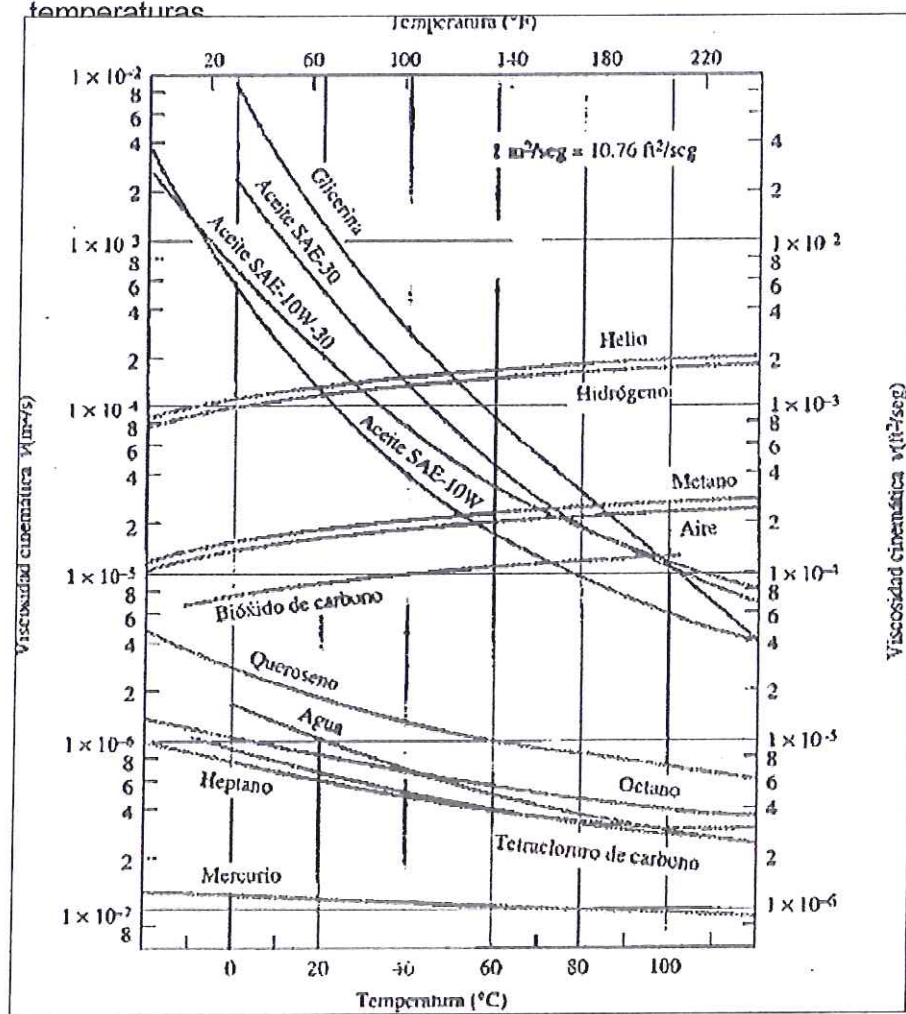


FIGURA 5.2: VISCOSIDADES DE FLUIDOS PARA DIFERENTES TEMPERATURAS.

FUENTE: [12]

5.2 Dispersión del residuo en la cámara de combustión (Hogar)

Las pruebas realizadas para establecer parámetros de incineración se hicieron con flujo constante, de residuo (ver tabla14), para dispersión, y establecer como se presentaron los cambios de temperaturas dentro de la cámara.

TABLA 14				
Parámetros establecidos para la Realización de las pruebas experimentales de Campo				
Dispersión lateral en Cámara Principal	Residuo disperso 0,122gal/min	Boquilla de disperion- Tipo2,8W- Ø2mm Max	Presión de dispersión 20psi	Temperatura de dispersión 800°C
Dispersión Paralela a la Llama en Cámara Principal	Residuo disperso 0,122gal/min	Boquilla de disperion- Tipo2,8W- Ø2mm Max	Presión de dispersión 20psi	Temperatura de dispersión 800°C

Para la realización de este proyecto, se consideraron parámetros de dispersión dentro de la cámara de pruebas, como se muestran en la figura 5.3

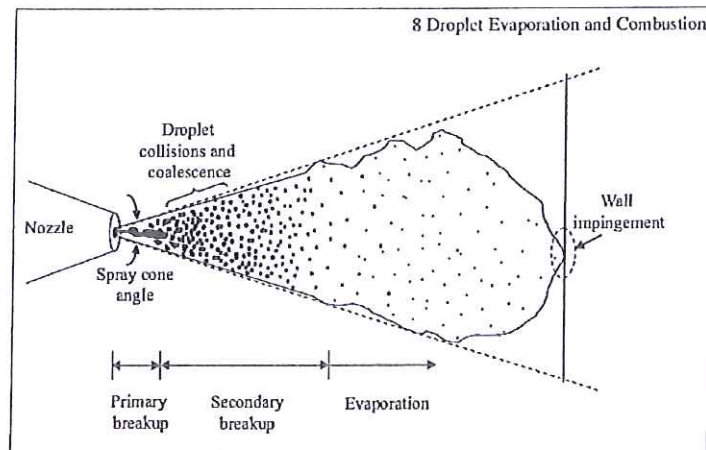


FIGURA 5.3 DISPERSIÓN DE GOTAS EN CÁMARA
FUENTE: [14]

Dispersión lateral en la cámara de combustión principal

Las pruebas se realizaron primero dispersando lateralmente a 1.6 m de distancia, de la llama principal. (ver figura 5.4). Para esto se requería determinar cómo se comportaba el residuo a esa temperatura, si la cantidad presente de agua permitirá que se auto inflame con el aporte del calor de la cámara.

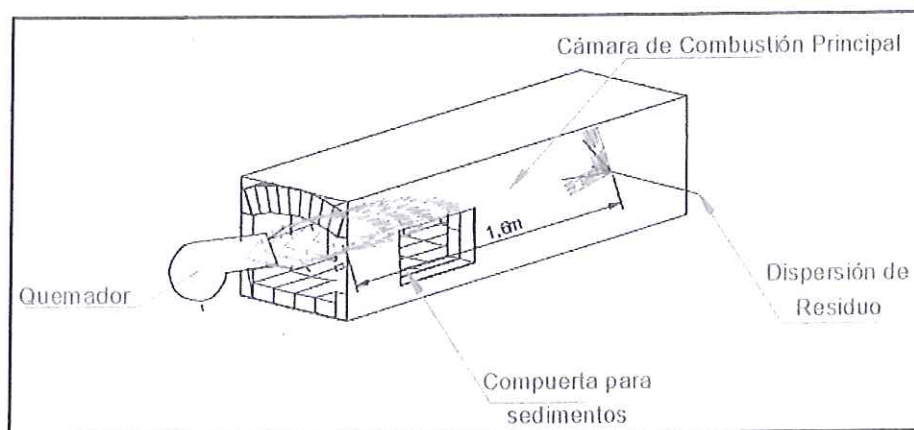


FIGURA 5.4 DISPERSIÓN LATERAL EN CÁMARA

Como la cámara principal de pruebas se estabiliza para una temperatura que estuvo alrededor de 850°C se decidió comenzar a dispersar a 800°C . obteniendo los siguientes datos mostrados en la tabla 15.

TABLA 15	
DATOS DE TEMPERATURA PRUEBAS DE DISPERSIÓN LATERAL (QUEMADOR APAGADO)	
Tiempo (min)	Temperatura($^{\circ}\text{C}$)
0	800
3	808
4	761
4,1	751
4,2	744
4,3	740
4,4	737

4,5	726
4,6	714
4,7	705
4,8	700
4,9	691
5	680

En esta prueba se demuestra cómo afecta el contenido de agua presente en el residuo de sentina, no logra auto inflamarse y la temperatura decae demasiado rápido sin que exista suministro de llama piloto o llama del quemador principal, este es apagado inmediatamente cuando se da la dispersión a una temperatura de cámara de 800°C, Los datos obtenidos se representan en la siguiente figura 5.5

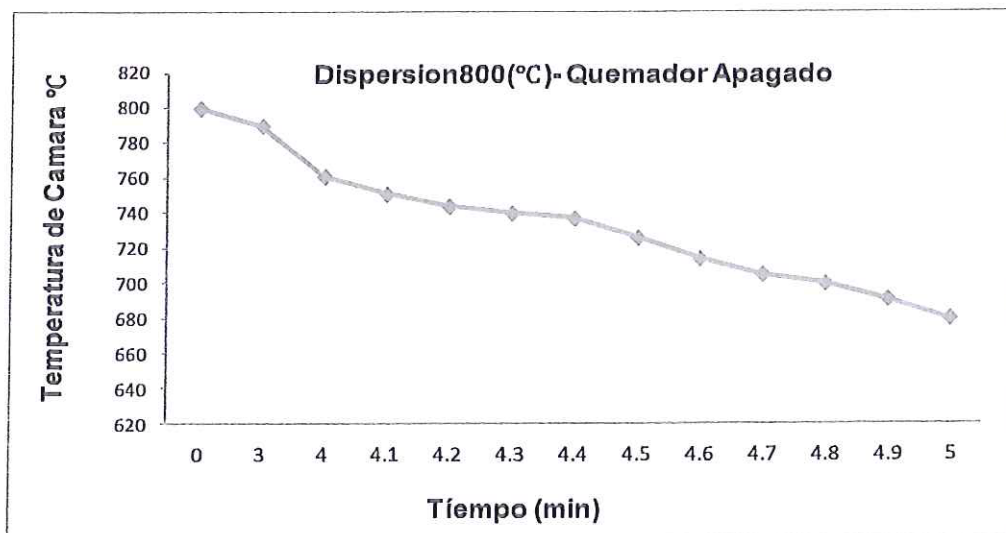


FIGURA 5.5 DISPERSIÓN 800(°C) QUEMADOR APAGADO.

Para la siguiente prueba se determinó que el quemador principal debe de estar encendido a la temperatura de dispersión, sin embargo los datos mostrados en la tabla 16, muestran como la temperatura sigue decreciendo sin que se inflame el residuo.

TABLA 16	
DATOS DE TEMPERATURA PRUEBAS DE DISPERSIÓN LATERAL (QUEMADOR ENCENDIDO)	
Tiempo (min)	Temperatura(°C)
0	817
2	821
5	822
6	826
8	837
8,5	820
9	782
9,5	760
10	718
10,5	700
11	653
11,5	637
12	621

Los datos obtenidos en esta prueban determinar que se debe dispersar directamente en el frente de la llama piloto. En la siguiente figura 5.6 muestra la curva de temperatura descrita para los datos de la tabla 16.

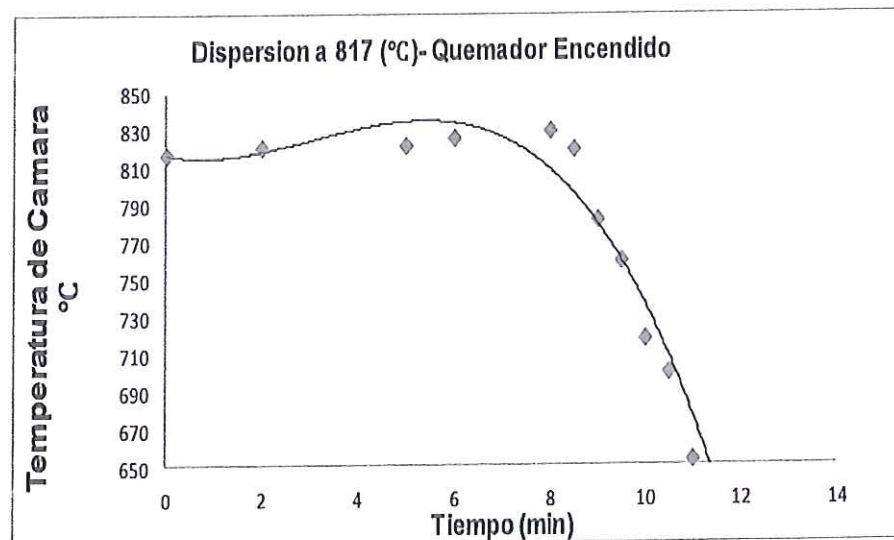


FIGURA 5.6 DISPERSIÓN 800(°C) QUEMADOR ENCENDIDO

Los datos obtenidos en esta segunda prueba para establecer parámetros de incineración de residuos de aguas de sentinas, muestran como la temperatura en la cámara decae más lentamente, pero no llega a ser auto sustentable.

Debido a estas dificultades se dispuso dispersar paralelo a la llama del quemador principal, actuando como llama piloto para que se comience a dar la combustión del residuo.

Dispersión paralela a la llama del quemador

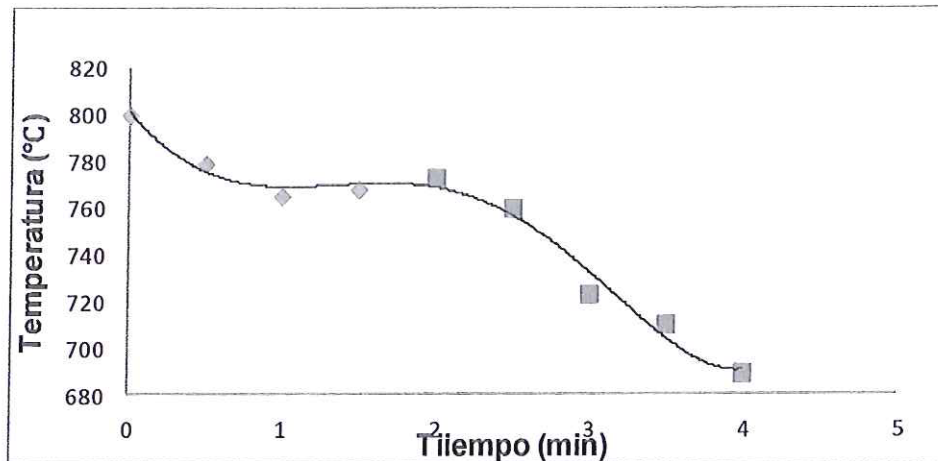
En esta prueba se estimó la temperatura de inflamación del residuo disperso, paralelo a la llama del quemador.

Cuando comenzó a inflamarse, inmediatamente se apagó el quemador dejando encendido el soplador de aire, determinado si la llama producida por el residuo era auto sustentable. Los datos obtenidos se muestran en la tabla 17

TABLA 17		
DISPERSIÓN PARALELA EN LA LLAMA DEL QUEMADOR		
Parámetro	Tiempo(min)	Temperatura(°C)
Quemador Encendido	0	800
	0,5	779
	1	765
	1,5	768
Quemador Apagado	2	773
	2,5	760
	3	723
	3,5	710
	4	689

La dispersión cae hasta que el residuo se inflamo por 770°C, en ese momento se procedió a apagar el quemador principal, solo dejando el

soplador encendido, pero la dispersión no fue auto sustentable. Ver figura 5.7.



**FIGURA 5.7 DISPERSIÓN PARALELA A 800(°C) QUEMADOR
ON/OFF**

En esta prueba se mantuvo el quemador encendido, la ubicación de la lanza de dispersión es prescindible motivo a eso, la llama principal puede no llegar a quemar todo el residuo disperso.

Es por eso que la temperatura de la cámara siguió descendiendo (ver tabla 18). La dispersión se realizó paralela a la llama principal, pero a una distancia de 0.7m. Ver figura 5.8.

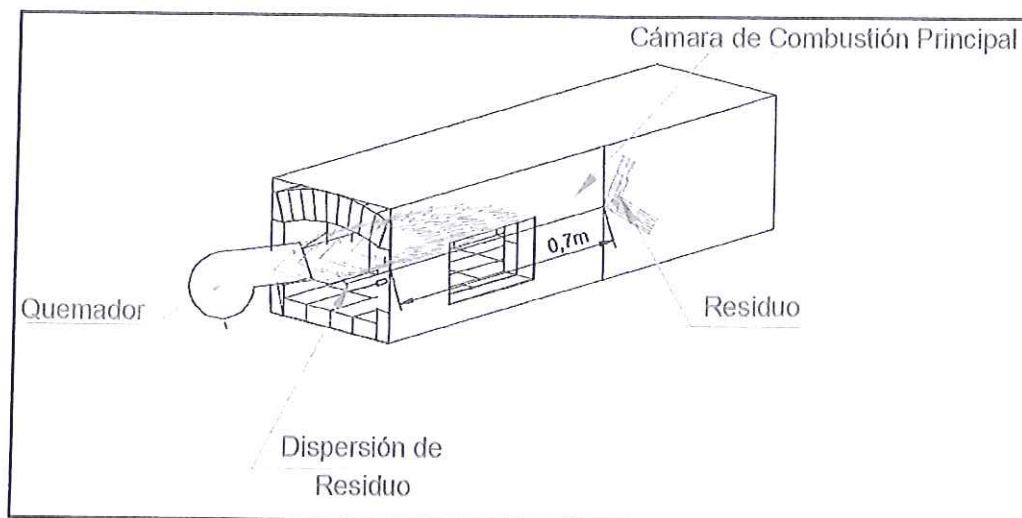


FIGURA 5.8 DISPERSIÓN PARALELA EN CÁMARA

TABLA 18 DISPERSIÓN LATERAL EN LA LLAMA DEL QUEMADOR (0,7m)	
Tiempo(min)	Temperatura(°C)
0	800
0,5	779
1	768
1,5	740
2	703
2,5	689
3	670
3,5	640
4	611
4,5	578
5	540

En la figura 5.9 se describen los datos obtenidos en la tabla 18.

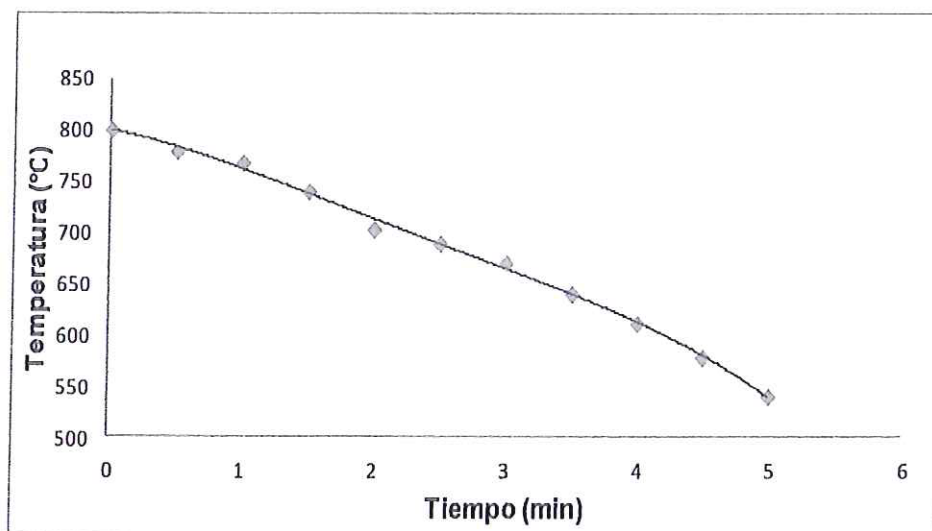


FIGURA 5.9 DISPERSIÓN A (0.7M) CON QUEMADOR ENCENDIDO

Dispersión paralela en la llama del quemador estabilización de cámara con aporte de energía de residuo

En esta prueba se pudo determinar cómo se estabilizó la cámara de combustión principal, al dispersar residuo de agua de sentina.

Inicialmente se dispersó solo agua determinado si era posible estabilizar la cámara, según los datos obtenidos se requiere más aporte de energía para este fin. Ver tabla 19.

cuando la temperatura comenzó a seguir disminuyendo, se realizó el paso del de residuo de sentina, en ese momento le tomo algo de tiempo en comenzar a elevar nuevamente la temperatura de la cámara, con un solo quemador y para un mismo caudal de operación, se logró estabilizar la cámara, la particularidad de este residuo se encuentra en un rango de 750°C - 780°C para que comience a auto inflamarse, sin embargo es necesario el aporte de llama piloto, para evitar contra flujo , además la dispersión se da paralela, en conjunto con la llama del quemador. Ver figura 5.10

TABLA 19				
RÉGIMEN DE TEMPERATURAS DE COMBUSTIÓN				
Característica de la muestra empleada	Parámetro evaluado en la Flama del quemador		Parámetro de Cámara Evaluado 2mt delante de la flama	
	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
Agua100%	0	770	0	760
	0,5	765	1	769
	1	759	1,5	749
	2	729	2	732
	2,5	712	2,5	715
	3	704	3	696
	3,5	669	3,5	685
	4	662	4	675
	5	652	5	678
	5,5	678	6	694
	6	721	6,5	730
	7	733	7	790
	8	757	8	810
80%agua 20%aceite	9	774	9	812
	10	785	10	812
	11	800	11	811
	12	817	12	812
	13	817	13	811

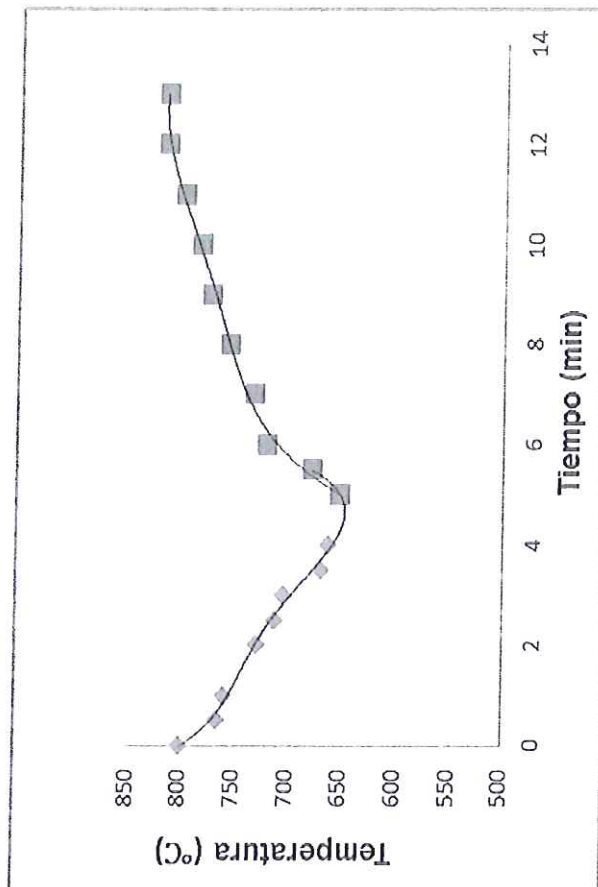


FIGURA 5.10 Dispersión a 800(°C) estabilización de temperatura de cámara

El residuo disperso en la cámara puede llegar encontrarse en un régimen estable, con el aporte de combustible dado por el quemador en la cámara. Siempre que si disperse directamente hacia la llama del quemador, obteniendo un flujo paralelo a la llama. De esta manera según los datos obtenidos la temperatura en la cámara puede mantenerse aproximadamente constante, este es el objetivo que deberá de cumplir, garantizando que se quema la mayor parte de residuo de aguas de sentina., en la siguiente figura 5.11 se muestra la temperatura de la cámara medida a la salida de la primera etapa de combustión.

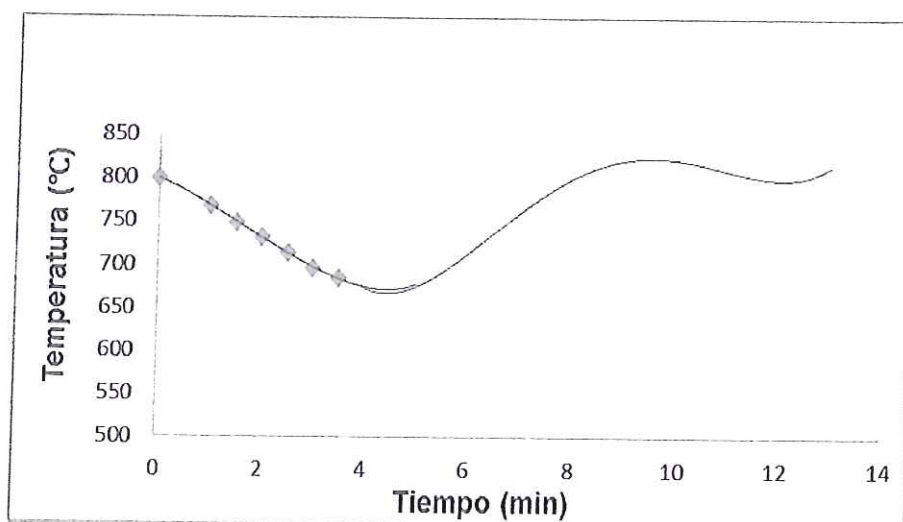


FIGURA 5.11 DISPERSIÓN A 800(°C), MEDIDA A LA SALIDA DE CÁMARA

Con la realización de las pruebas de campo se procede a determinar cuál fue el aporte de energía proporcionado por el residuo, utilizando para un flujo constante de $0.122 \frac{gal}{min}$.

Calculando el flujo másico de residuo mediante la ecuación (3,5):

$$\dot{m}_{residuo} = consumo * \rho$$

$$\dot{m} = 0.122 \frac{gal}{min} * 3.785 \frac{Lt}{1gal} * 0.984 \frac{Kg}{Lt} * 60 \frac{min}{h} = 27.26 \frac{Kg}{h}$$

Estableciendo los parámetros se define en el proyecto como se muestra en la tabla 20 se obtiene el flujo másico para cada porcentaje:

TABLA 20	
CAPACIDAD ESTABLECIDA DE RESIDUO EN PORCENTAJES PARA LAS PRUEBAS	
Cantidad de residuo Suministrado	residuo suministrado (Kg/h)
Aceite presente (35%)	9.53
Agua presente (65%)	17.72

Luego se procedió a determinar la energía del residuo que se dispersó en la cámara de pruebas aplicando la ecuación (3.3).

$$Energia\ del\ Residuo = \left(9.53 \frac{Kg}{h}\right) \left(\frac{14MJ}{kg}\right) - \left(17.7 \frac{Kg}{h}\right) \left(2.3 \frac{MJ}{kg}\right) = 93 \frac{MJ}{h} \quad (3.3)$$

Energía proporcionada por el quemador para un consumo de combustible que esta alrededor 2GPH

Eneria del quemador = $277 \frac{\text{MJ}}{\text{h}}$, este parametro es obtenido de la tabla6.

$$\text{Energia Disponible} = \text{Energia del Residuo} + \text{Energia del quemador} \quad (3.5)$$

$$\text{Energia Disponible} = 93 \frac{\text{MJ}}{\text{h}} + 277 \frac{\text{MJ}}{\text{h}} = 370 \frac{\text{MJ}}{\text{h}}$$

$$\text{Energia disponible} = 370 \frac{\text{MJ}}{\text{h}}$$

El volumen de la cámara que se utilizó en las pruebas de campo es de aproximadamente 0.5m^3 ., con este dato se determina la tasa volumétrica de generación de calor para verificar que se encuentra dentro de los límites establecidos en la tabla4. Determinando la tasa de generación de calor mediante la ecuación (3.6) se tiene:

$$\text{Tasa estimada} = \frac{\left(370 \frac{\text{MJ}}{\text{h}}\right)}{0.43\text{m}^3} = 860 \frac{\text{MJ}}{\text{h} - \text{m}^3} \quad (3.6)$$

Con este resultado se comprobó que el cálculo basado para el dimensionamiento de la cámara de mayor capacidad estuvo dentro de los límites establecidos.

5.3 Temperaturas de operación

Las temperaturas de operación de las pruebas estuvieron gobernadas por el calentamiento de la cámara de combustión principal, por normas ambientales deberá de estar alrededor de 800°C para eliminar desechos peligrosos.

En esta cámara se da el 60%-70% de la combustión de los residuos. La segunda cámara post combustión al estar a 1200°C, se queman los gases no quemados productos en la combustión inicial.

La temperatura promedio de la cámara se obtuvo en pruebas experimentales de campo midiéndola para días diferentes, ver tabla 21

En la figura 5.12 se muestra la curva de calentamiento de la cámara y en que rango de estabiliza.

El régimen de dispersión para en las pruebas de campo estuvo dentro de un rango de 800-900°C donde la cámara se estabiliza térmicamente sin carga, solo con aporte del quemador principal

TABLA 21	
TEMPERATURA PROMEDIO DE CÁMARA DE COMBUSTIÓN PRINCIPAL OBTENIDA EN PRUEBAS DE CAMPO – CDTs ESPOL	
Tiempo(min)	Temperatura(°C)
0	26
3	100
5	299
7	518
10	659
12	721
14	738
15	747
19	760
24	782
29	801
39	838
44	853
49	861
54	869
59	878
69	900

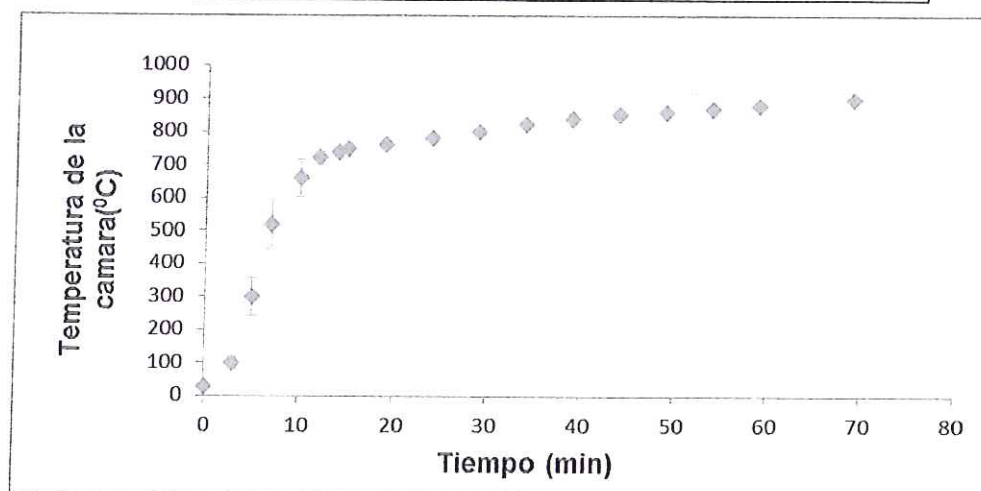


FIGURA 5.12 CURVA DE TEMPERATURA PROMEDIO DE LA CÁMARA DE PRUEBAS

En la tabla 22 se muestra que la temperatura de dispersión de residuo en la cámara, estuvo alrededor de 800°C

TABLA 22		
TEMPERATURA PROMEDIO UTILIZADA PARA DISPERSIÓN EN PRUEBAS EXPERIMENTALES DE CAMPO		
Dispersión lateral en cámara	Dispersión Paralela en cámara	Temperatura de cámara
Prueba 1	Prueba 2	≈800C
Prueba 1	Prueba 2	

La figura 5.13 muestra cómo se estabilizo la cámara cuando se dispersa residuo de agua de sentina en un régimen constante tanto para frente de llama y a la salida de la cámara.

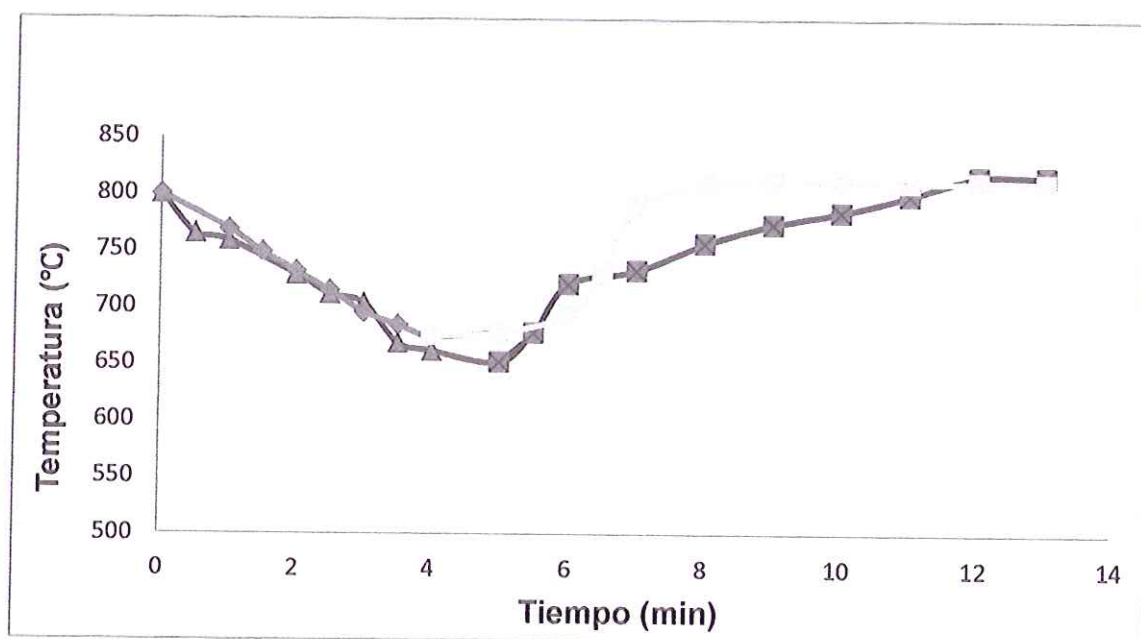


FIGURA 5.13 RÉGIMEN DE TEMPERATURAS EN LA CÁMARA PRINCIPAL DE PRUEBAS

5.4 Aire complementario

La combustión industrial es un fenómeno complejo que depende de algunos factores para que se de en su totalidad de manera correcta. El aire complementario que se requiere para una buena combustión depende del tipo de combustible que se esté quemando, y del quemador utilizado.

El combustible entra como liquido o gas hacia el quemador y luego es disperso en la cámara por la boquilla de atomización del mismo, puede que el tiempo de combustión no sea suficiente para que cada molécula de combustible se mezcle con las de oxígeno presente.

Debido a esto posterior a la zona de llama se requiere aire complementario para que se dé la inflamación de residuos de combustibles que no se lograron quemar al inicio.

Cabe indicar que el exceso de aire infliere directamente a la zona inicial de llama, para promover una combustión completa, la combustión es una reacción rápida que requiere una mezcla íntima de aire.

La evaporación se presenta al dispersar residuo en la cámara de combustión y el combustible dispuesto por el quemador, las gotillas que se forman se irán fraccionando cuando chocan con el aire dado por el blower del quemador o uno externo para que así se logre mezclar en su totalidad. Si el fraccionamiento no se da en la zona de llama debido a gotas muy gruesas, puede ocasionar chisporroteo o pequeñas explosiones de combustible mal quemado. También debido a la alta temperatura de la cámara este combustible sin quemar sale como hollín.

El exceso de aire afecta la rapidez de reacción de la llama, y esta tiende a disminuir su temperatura por la carga térmica presente que ganan las paredes de la cámara.

En este proyecto utilizó aproximadamente 30% EA proporcionado por el blower del quemador ya que el agua, sedimentos presente en el residuo puede interferir en la buena combustión. En la siguiente figura 5.14 se muestra un balance típico de masa que se da en los procesos de combustión.

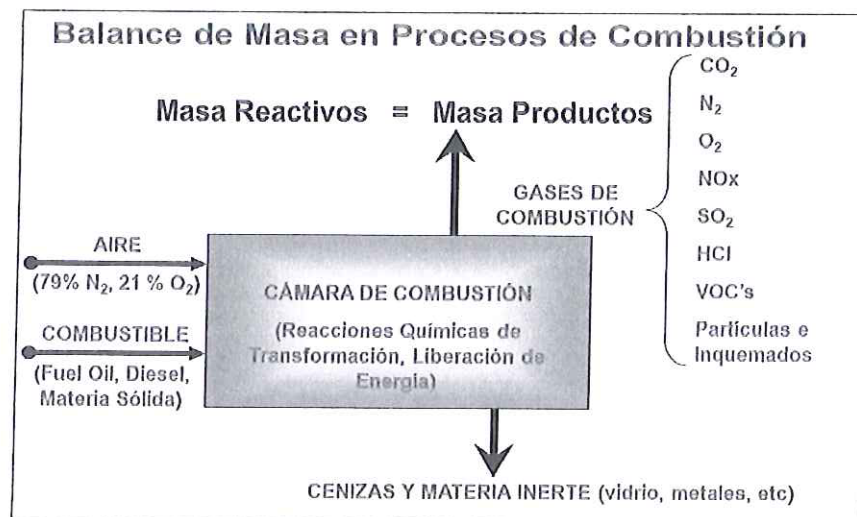


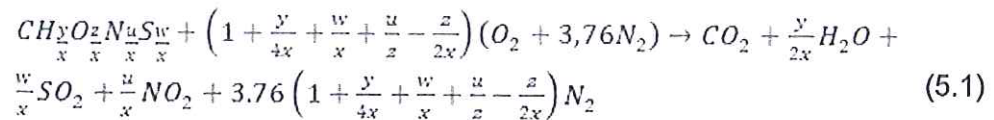
FIGURA 5.14 BALANCE DE MASA EN PROCESOS DE COMBUSTIÓN

FUENTE: [4]

Mediante el siguiente análisis estequiométrico para la reacciones de combustible utilizado y residuo de agua de sentinas disperso, se evaluó la relación aire combustible aproximada que se debe de existir para una combustión completa.

Para el combustible utilizado (Diésel), se da la composición aproximada: 86.5%C, 11.5%H, 0.5%S, 0.4%N, 0.3%O. [4]

La ecuación de combustión completa sin exceso de aire está definida por la siguiente ecuación, (5.1).



Luego se determinan los coeficientes estequiométricos para cada uno de los componentes:(5.2).

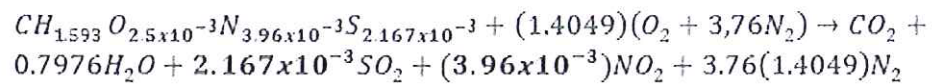
$$H \rightarrow \frac{y}{x} = \frac{mH}{mC} \left(\frac{M_C}{M_H} \right) = \frac{0,115}{0,865} \left(\frac{12}{1} \right) = 1,5953H \rightarrow \frac{y}{x} = \frac{mH}{mC} \left(\frac{M_C}{M_H} \right) = \frac{0,115}{0,865} \left(\frac{12}{1} \right) = 1,5953$$

$$O \rightarrow \frac{z}{x} = \frac{mO}{mC} \left(\frac{M_C}{M_O} \right) = \frac{0,003}{0,865} \left(\frac{12}{16} \right) = 2,5 \times 10^{-3}O \rightarrow \frac{z}{x} = \frac{mO}{mC} \left(\frac{M_C}{M_O} \right) = \frac{0,003}{0,865} \left(\frac{12}{16} \right) = 2,5 \times 10^{-3}$$

$$N \rightarrow \frac{u}{x} = \frac{mN}{mC} \left(\frac{M_C}{M_N} \right) = \frac{0,004}{0,865} \left(\frac{12}{14} \right) = 3,96 \times 10^{-3}N \rightarrow \frac{u}{x} = \frac{mN}{mC} \left(\frac{M_C}{M_N} \right) = \frac{0,004}{0,865} \left(\frac{12}{14} \right) = 3,96 \times 10^{-3}$$

$$S \rightarrow \frac{w}{x} = \frac{mS}{mC} \left(\frac{M_C}{M_S} \right) = \frac{0,005}{0,865} \left(\frac{12}{32} \right) = 2,167 \times 10^{-3}S \rightarrow \frac{w}{x} = \frac{mS}{mC} \left(\frac{M_C}{M_S} \right) = \frac{0,005}{0,865} \left(\frac{12}{32} \right) = 2,167 \times 10^{-3}$$

Reemplazando los coeficientes estequiométricos (5.2), en la ecuación (5.1) se tiene.



Calculando la relación estequiométrica aire/fuel para el Diésel, definido por la ecuación: (5.3)

$$\frac{a}{f} = \frac{\left(1 + \frac{y}{4x} + \frac{w}{x} + \frac{u}{z} - \frac{z}{2x}\right)(O_2 + 3.76N_2)}{\left(12 + H\left(\frac{y}{x}\right) + N\left(\frac{u}{x}\right) + O\left(\frac{z}{x}\right) + S\left(\frac{w}{x}\right)\right)} \quad (5.3)$$

$$\frac{a}{f} = \frac{(1.4049)(32 + 105.28)}{12.1647} = 15.865$$

Obtenido el equivalente de $\frac{m_a}{f}$ con exceso de aire del 30% tenemos (5,4):

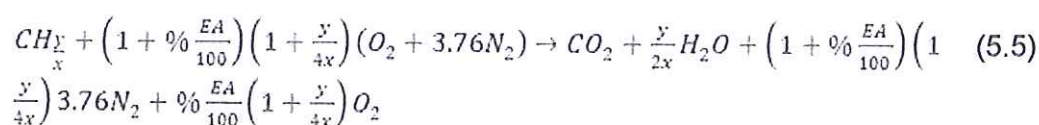
$$\frac{m_a}{f} = \frac{a}{f} \left(1 + \% \frac{EA}{100}\right) \quad (5.4)$$

$$\frac{m_a}{f} = 16 \left(1 + \frac{30}{100}\right) = 20.8 \approx 21$$

Con este parámetro se estima la relación estequiometria para el flujo de gases de salida (5.5).

$$\frac{m_g}{f} = \frac{m_a}{f} + 1 = 21 + 1 = 22 \quad (5.5)$$

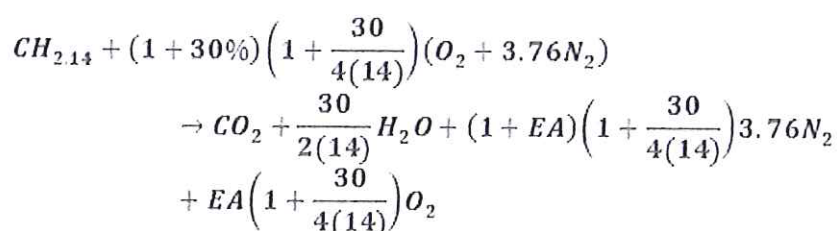
Estimando empíricamente el hidrocarburo que conformaría el agua de sentinas [20]. El combustible presente aproximado es $CH_{2.14}$ con cantidad de residuos bajo compuestos.



El coeficiente estequiométrico para la ecuación está definido como por:

$$\frac{y}{x} = 2.14 \quad (5.6)$$

Reemplazando la ecuación (5.6) en la ecuación (5.5) Tiene:



La relación aire combustible estequiométrica para el residuo con exceso de aire presente del 30% tiene (5.7)

$$\frac{a}{f} = \frac{\left(1 + \frac{y}{4x}\right) (O_2 + 3.76N_2) (1 + EA)}{\left(12 + \frac{y}{x}\right)} \quad (5.7)$$

$$\frac{a}{f} = \frac{(1 + 0.535)(137.28)(1 + 0.30)}{(12 + 2.14)} = 19.37$$

La relación estequiométrica para determinar el flujo de gases de salida

(5.8)

$$\frac{m_g}{f} = \frac{a}{f} + 1 = 19 + 1 = 20 \quad (5.8)$$

Se determinara el balance de masa que existirá en la cámara de combustión principal, mostrado en la figura 5.15

Balance de masa para la cámara de combustión principal

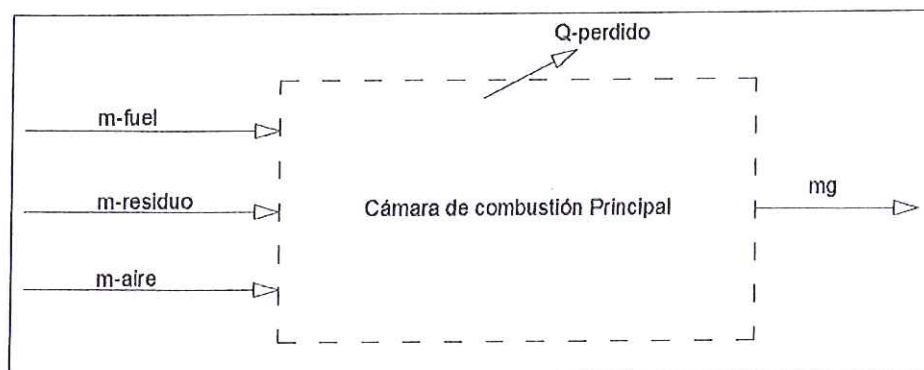


FIGURA 5.15: BALANCE DE MASA PARA LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN PRINCIPAL

Realizando el balance de masa en la cámara de combustión principal se determina el flujo másico de gases de salida

(5.9)

$$m_{entra} = m_{sale}$$

$$\dot{m}_{entra} = \dot{m}_g$$

$$\dot{m}_g = \left(m_f + m_{\frac{g}{fuel}} * mf \right) + \left(m_r + m_{\frac{gr}{fuel}} * m_r \right) + m_{agua}$$

Considerando la cantidad de masa suministrada en su totalidad para el requerimiento de dimensionamiento el flujo de gases de salida, para un consumo de 4GPH, reemplazando en la ecuación (5,9):

$$\begin{aligned} \dot{m}_g &= \left(12.37 \frac{Kg}{hr} + (12.379)(21) \frac{Kg}{hr} \right) + \left(20 \frac{Kg}{hr} + (20)(20) \frac{Kg}{hr} \right) + 80 \frac{Kg}{hr} \\ &= 760 \frac{Kg}{hr} \end{aligned}$$

Luego, analizando como gas ideal se puede estimar la densidad aproximada que tendrán los gases de combustión conociendo la temperatura de cámara y del medio circundante. (5.10)

$$\rho_g = \rho_a \left(\frac{P}{P_o} \right) \left(\frac{T_o}{T} \right) \quad (5.10)$$

$$\rho_g = 1.25 \frac{Kg}{m^3} \left(\frac{1}{1} \right) \left(\frac{303}{1173} \right) = 0.3196 \frac{Kg}{m^3}$$

Determinando el caudal de salida de los gases de escape mediante la ecuación (5.11)

$$Q_g = \frac{\dot{m}_g}{\rho_g} \quad (5.11)$$

$$Q_g = \frac{760 \frac{Kg}{hr}}{0.3196 \frac{Kg}{m^3}} = 2378 \frac{m^3}{hr} = 0.66 \frac{m^3}{seg}$$

5.5 Ducto de salida de gases residuales

Los gases residuales de combustión antes de salir a la atmosfera o ser dispuestos en un sistema de depuración deben de permanecer entre 1.5-2seg en cámara de post combustión. Para esto el tamaño de esta cámara deberá de ser dimensionado en base a esta consideración.

Para el requerimiento de este proyecto se tiene un caudal de salida de gases de combustión inicial de $Q_g = 0.66 \frac{m^3}{seg}$.

Para un área establecida de sección transversal de post combustión de $A = 0.503m^2$ Tiene. (5.12)

$$A * V = Q_g = \left(0.66 \frac{m^3}{seg} \right)$$

➤ Determinación de la velocidad de salida de gases de combustión. (5.12) (5.13)

$$V_{salida} = \frac{0.66 \frac{m^3}{seg}}{0.503m^2} = 1.312 \frac{m}{seg}$$

➤ Tiempo de residencia de gases de combustión en cámara principal

$$t_{residencia} \approx (1.75 - 2) seg$$

$$t_{residencia} = \frac{\text{Longitud de camara de post comsbution}}{V_{salida}} \quad (5.14)$$

$$\text{Longitud de camara de post comsbution} = (2\text{seg}) \left(1.312 \frac{\text{m}}{\text{seg}} \right)$$

$$\text{Longitud de camara de post comsbution} = 2,6\text{m}$$

Longitud estimada de chimenea de salida considerando el tamaño de cámara establecido anteriormente será de un diámetro de chimenea de 0.5m. La diferencia de presión existente en la cámara de post-combustión hacia la chimenea de salida al encontrarse los gases más calientes que el ambiente, su peso específico será menor y la presión exterior mayor haciendo que salgan hacia la atmósfera a este proceso se conoce como tiro natural.

Para que ocurra este efecto, el tiro debe de ser mayor a las pérdidas por fricción en la chimenea

$$\text{Tiro} > \text{Perdida por Friccion}$$

- ρ_a Densidad del aire
- ρ_g Densidad de los gases
- H Altura de chimenea

$$\text{Tiro} = (\rho_a - \rho_g) * g * H \quad (5.14)$$

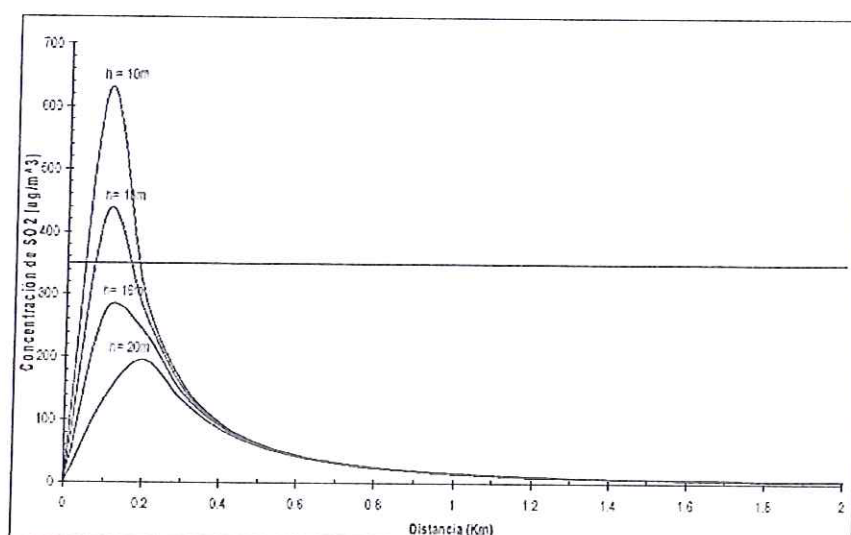
Por regulaciones ambientales la altura dada por el tiro, será tomada en base a los siguientes factores específicos; para un combustible de mayor contenido de azufre, este caso el contaminante es menor.

La altura estimada de chimenea es de por lo menos 15m, la metodología que se llevará a cabo es similar para un estudio previo a la implementación del proyecto:

- Realizar mediciones de los gases de concentración en la chimenea de acuerdo a la norma ecuatoriana presente en el Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULA)
- Obtener parámetros como altura física de la chimenea, temperatura de los gases de salida y diámetro interno de la chimenea basado en los datos medidos.
- Verificar y constatar la existencia de infraestructuras cercanas a las chimeneas que tengan alturas mayores a las mismas

- Localizar la distancia de la mayor concentración a nivel del suelo. En caso de ser negativa la comparación, entonces se procede a estimar cual debería ser la altura de la chimenea para cumplir con la norma establecida.⁵

La figura 5,13 muestra la altura de chimenea para diferentes concentraciones, y distancias.



**FIGURA 5.13 SISTEMATIZACIÓN DE PROCEDIMIENTO PARA
DIMENSIONAMIENTO DE CHIMENEAS EN SISTEMAS DE
COMBUSTIÓN INDUSTRIAL**

Fuente:[1]

⁵ Alfredo Barriga, P. -L. (2003). Caso de Estudio de Dispersión al entorno de Contaminantes de la Estela . *Sistematización de Procedimiento para Dimensionamiento de Chimeneas en Sistemas de Combustión Industrial*. GYE , ECUADOR : ESPOL.

5.6 Análisis de Resultados

La selección de tecnología que fue empleada en este proyecto se basa a visitas técnicas de campo, búsqueda sobre la determinación final de estos residuos que se dan el medio, de ahí parte el requerimiento de proyecto de eliminar 2Ton/Día de residuo de agua de sentina.

Como se determinó en el capítulo 1 la cantidad de residuo estimada en el año 2013 está alrededor de $20 \frac{\text{Ton}}{\text{Día}}$ solo en el puerto de Guayaquil, sin considerar puertos privados, se deberá tener siempre a consideración las normativas ecuatorianas ambientales para la adecuada disposición sin perjudicar el ambiente.

Las pruebas de dispersión de residuo en la cámara de combustión del incinerador de desechos peligrosos de CDTs-Espol, permitió establecer un dimensionamiento práctico para la cámara que requerirá un flujo de residuo de $100 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$, cabe indicar que la muestra de residuo proporcionada en las visitas técnicas contiene 35% de aceite presente y el 65% es agua. Con esto se puede notar que para muestras mayores a estos porcentajes el aceite residual que se encuentra presente puede ser recuperado por otros medios.

La dispersión de residuo realizada en la experimentación de campo muestra como se pudo estabilizar la cámara principal de combustión, importante para un régimen adecuado de eliminación de residuo, ya que esto dependerá del consumo adicional de combustible.

El sistema de dispersión que se llegue a implementar requerirá un filtrado previo para que no afecte las boquillas de salida, tupiéndolas con alguna partícula.

Con este aporte de energía el residuo puede ser combinado con otros tipos de combustible como gas (metano) para su eliminación, al ser sustentable en la cámara de combustión que se esté utilizando puede servir como combustible adicional manteniendo siempre la llama piloto del quemador encendida, pero reduciendo la cantidad de combustible suministrado.

La disposición final de los lodos de fondos para una rápida determinación, se comprobó en una de las visitas realizadas que pueden ser fogueados en cámara de combustión con este mismo residuo, eliminando el hidrocarburo presente.

El requerimiento de aire complementario debe de ser el suficiente para que se dé una buena, mezcla de combustión, tanto como el exceso de

aire suministrado directamente en la zona de llama como el adicional en la trayectoria de la cámara principal, de esta manera los gases de la primera etapa de combustión se puedan quemar en el post-combustor eliminando las dioxinas, furanos, NOx presentes en la combustión y al pasar al lavador de gases no tener gases tan ácidos en el proceso.

La selección del tamaño adecuado para la cámara de combustión quedara a criterio del medio consultado ya que pueden afectar directamente a los costos del sistema general, sin embargo se debe de tomar en consideración la cantidad de energía que se puede generar tal como lo es la tasa volumétrica de generación de calor ya que este parámetro influye en la capacidad del sistema, así como la cantidad de flujo de gases de salida que se puede tener ya que al dimensionar la cámara de post-combustión la longitud está gobernada por un tiempo de residencia en esta cámara de al menos 1.5-2seg según normas ambientales.

La chimenea de gases de salida puede ser dimensionada para esta consideración de combustión, pero la altura variara debido a que requerirá de un análisis de dispersión de participado en el medio donde se pueda llegar a implementar el equipo.

CAPÍTULO 6

6 ANÁLISIS DEL COSTO DEL SISTEMA

6.1 Parámetros Involucrados

El costo ha sido obtenido por precios referenciales del medio previa consulta y consulta a especialistas que se de dican a elaborar este tipo de sistemas

Para la implementación de un sistema de eliminación térmica para desechos peligrosos se debe tener en consideración parámetros como el tipo de residuo a eliminar volumen de carga, esto hará variar el costo total del proyecto.

Las reparaciones mayores como el cambio de los refractarios se estima para un periodo de 5 años, este parámetro puede ser tomado en consideración según el uso no adecuado del sistema

6.2 Costo inicial del sistema

El costo inicial del sistema seleccionado fue el siguiente tabla 23.

TABLA 23			
MATERIALES Y EQUIPOS			
Descripción	Cantidad	Costo Unitario(\$)	Costo total(\$)
Plancha de acero ASTM A36 - 4x1220x2400(mm)	4	140	560
Lana de Roca Aislante - 25,4x600x7000 (mm)	4	100	400
Mortero Refractario Concrax1500 - Sacos de 25Kg	6	55	330
Ladrillos Refractarios Aislante Erecos ua26 -Tipo Recto 66x117x230 (mm)	2000	6	12000
Ladrillos Refractarios Aislante Erecos ua26 -Tipo Arco 1 66x117x230 (mm)	1500	6	9000
Viga IPE100 6m	2	90	180
Quemador Wayne Model HS oil 0,5 - 3 GPH	3	1000	3000
Tanque de 55Galones para recolección hacia dispersión	1	30	30
1 bomba Neumática doble diafragma DEPA DL08	1	600	600
Boquillas de dispersión	3	150	450
Acoples, manguera ,lanza para dispersión (Accesorios)	unidades	2000	2000
Pintura de alta temperatura (galones)	6	35	210

Termocuplas tipo K	4	100	400
PLC	1	250	250
tablero de control	1	80	80
Reparaciones mayores Mantenimiento c/d 5 años			7000
Sistema de depuración de Gases			30000
Galpón para proyecto			7000
Sistema de carga de lodos			6000
Total			\$79490

TABLA 24			
MÁQUINAS Y FUNGIBLES			
Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total(\$)
	80	2,86	228,8
Disco de corte	30 unidades	3	90
Oxígeno + Acetileno +Gas	unidad	150	150
Pintura anticorrosiva (galones)	3	18	54
Equipo de pintura	unidad	150	150
Maquina soldadora	unidad	120	120
Total			\$792,8

La Tabla 25 está establecida para la cantidad de personal que se requerirá en el proyecto, puede ser tomado en consideración. Cabe indicar que el valor propuesto para el estudio previo a la licencia ambiental no garantiza la obtención de la misma ya que pueden incidir

factores como la ubicación del proyecto, infraestructura y el requerimiento adicional de un sistema de depuración de gases, etc.

TABLA 25			
MANO DE OBRA			
Descripción	Cantidad	Costo unitario/mes (\$)	Total(\$)
Soldadores	1	900	1800
Armador	1	600	1200
albañil	2	800	1600
Ing. .Supervisor	1	1500	3000
Ingeniería del proyecto	-----	4500	4500
Estudio de impacto Ambiental			3000
Total			\$15000

El costo inicial está dado por la suma de los equipos, materiales, mano de obra, mostrados en la ecuación (6.1)

$$\begin{aligned}
 \text{Costo inicial} &= \text{Materiales y Equipos} + \text{Maquinas y Fungibles} + \text{Mano de obra} \quad (6.1)
 \end{aligned}$$

$$\text{Costo inicial} = \$79490 + \$792,8 + 15000 = \$95282.80$$

$$\text{Costo inicial} = \$95282.80$$

6.3 Costo Operativos

Los costos operativos han sido establecidos para implementación parcial del proyecto. Tabla 26

TABLA 26	
COSTOS OPERATIVOS	
Descripción	costo anual (\$)
Capacitación de personal	800
Personal requerido -operario	12000
O&M	4800
Fuel requerido 9galones/Día	3213
Energía eléctrica - 3KWhr - 11\$/kwhr	1500
Total	\$22313

Para determinar el costo estimado por tonelada de residuo, se procese a realizar el siguiente análisis económico.

Valor neto de la Inversion = Costo inicial

$$\text{Valor neto de la Inversion} = \$95282.80 \quad (6.2)$$

$$V_p \text{ Reparaciones Mayores}^c/d \text{ 5años} = \$14000 \quad (6.3)$$

➤ Para dos periodos cada uno de \$7000

$$\text{Inversion Inicial Equivalente} = \text{Valor neto de la inversion} + V_p \text{ Reparaciones mayores} \quad (6.4)$$

$$Inversion\ Inicial\ Equivalente = \$95282.80 + \$14000 = \$109282.8$$

$$FRC = \frac{i}{1 - \frac{1}{(1+i)^n}} \quad (6.5)$$

$$FRC = 0.1314$$

$$Anualidad = Inversion\ inicial\ equivalente * FRC \quad (6.6)$$

$$\Rightarrow Anualidad = \$109282.8 * 0.1314 = \$14359.75$$

$$Costo\ total\ anual = Costos\ operativos + Anualidad \quad (6.7)$$

$$Costo\ total\ anual = \$22313 + \$14359.75 = \$36672.75$$

La cantidad de residuo a eliminar para el dimensionamiento de este proyecto fue de $2 \frac{ton}{dia}$ obtenido un promedio anual de $700 \frac{ton}{año}$

El costo por tonelada de residuo disperso para estas consideraciones será de:

$$Costo\ por\ Ton = \frac{Costo\ Anual}{700 \frac{ton}{año}} = \frac{\frac{\$36672.75}{año}}{700 \frac{ton}{año}} = \frac{\$52.38}{ton} \quad (6.7)$$

En la tabla 27 se estimó el costo por tonelada de residuo, incluido reparaciones mayores para capacidades de 5,10 ton de residuo. Que se esquematizan en la figura 6.1

TABLA 27	
COSTO ESTIMADO POR TONELADA PARA MAYORES CAPACIDADES DE RESIDUO	
Capacidad (ton)	Costo por(\$/ton)
2	52
5	38
10	27

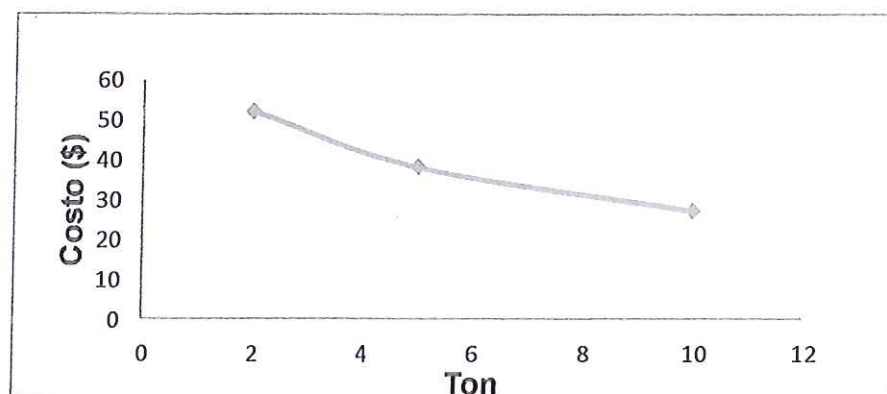


FIGURA 6.1 CURVA DE COSTOS ESTIMADO POR TONELADA DE RESIDUO

Los costos unitarios por capacidad instalada se establecen para diferentes longitudes de Post cámara de Combustión, para mayores capacidades de residuo.

La tabla 28 muestra las secciones transversales rectangulares consideradas, para las diferentes capacidades de residuo establecidas.

La tabla 29 se dan los parámetros necesarios para determinar la longitud de cámara de post combustión.

TABLA 28		
ÁREAS ESTABLECIDA PARA LA DETERMINACIÓN DE LONGITUD DE CÁMARA.		
a (m)	b (m)	Área m ²
0,63	0,8	0,504
0,75	0,85	0,6375
0,87	1	0,87

TABLA 29
ESTIMACIÓN DE LONGITUD DE CÁMARA PARA DISTINTAS CAPACIDADES

Ton	Kg	Residuo 20%	Agua 80%	m Fuel	A/f	mg (kg/hr)	Q(m ³ /seg)	V(m/seg)	Longitud de cámara(m)
2	100	20	80	12,37		760	0,660348004	1,31021429	2,620428589
5	208	41,6	166,4	19	21 - residuo	1439	1,250695314	1,961875	3,923750003
10	416	83,2	332,8	25	20 - Fuel	2605	2,264114866	2,60243088	5,20486176

En La tabla 30 se muestran los costos por capacidad instalada que se requerirá para empezar con la implementación del proyecto.

TABLA 30						
TABLA DE COSTOS ESTIMADOS, PARA MAYORES CAPACIDADES						
Capacidad 2Ton/día	Costo de refractario\$	Costo de acero(\$)	Sistema de depuración de gases(\$)	Mano de Obra(\$)	Costo Adicionales(\$)	Total estimado (\$)
2	21000	7180	30000	15000	22102	95282
5	37687	7270	50000	22500	34500	151957
10	69000	7360	80000	37500	51645	245505

La figura 6.2 muestra la proyección para capacidades mayores y los costos que demandarían implementar el proyecto.

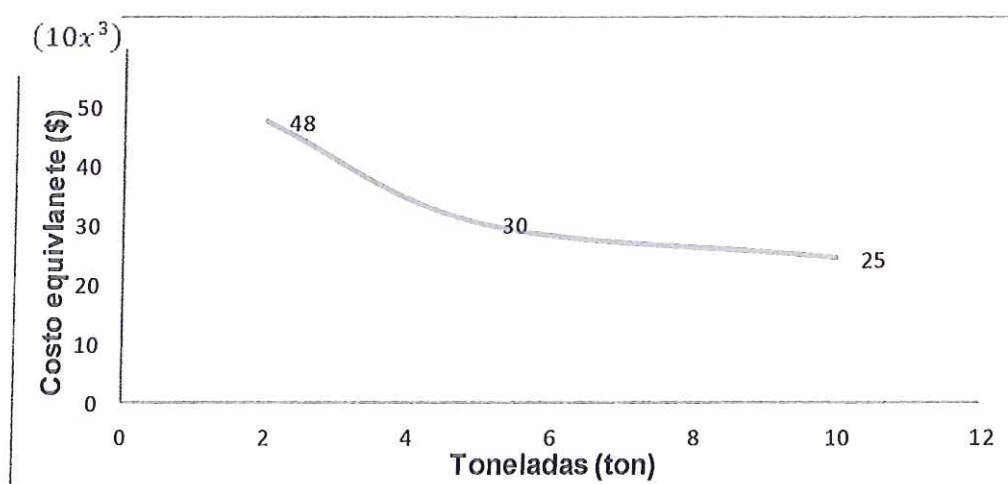


FIGURA 6.1 COSTO UNITARIO POR TONELADA INSTALADA

CAPÍTULO 7

1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- Los diferentes métodos que existen para eliminar residuos peligrosos muestran la versatilidad del tema tratado. En el medio consultado, existen muchas empresas que se dedican a este trabajo, donde se trata de dar una solución viable al eliminar residuos de aguas de sentinas. algunas industrias utilizan este residuo como combustible auxiliar residual, como las cementeras, debido a que su proceso requiere altas temperaturas implantadas por normas ambientales, para desaparecer los contaminantes nocivos que están presentes.

- La implementación de un incinerador de desechos peligrosos es factible, siempre y cuando se tenga consideraciones como tamaño de gotas dispersas, cantidad de agua presente, así llegar a rangos operativos implantados.

- El consumo de combustible dependerá de la cantidad de agua presente en el residuo; para la disposición de 2 ton día considerando 100kg/hr de residuo disperso, se obtienen rangos mínimos y máximo de energía adicional por el quemador de 317 MJ/hr, para residuo disperso de 93kg/hr y 1017MJ/hr para 299kg/hr, aproximadamente (2 GHP a 9 GHP).
- La adecuada implementación de este sistema permitirá satisfacer las necesidades de compañías, Gestoras Ambientales las que se encargan de eliminar estos residuos.
- La dispersión en la cámara principal de este residuo es viable, pero estará limitado a la parte acuosa; se deberá tener un pre filtrado para no bloquear las boquillas de salida.
- En la experimentación de campo se logró estabilizar la cámara de combustión de pruebas, dispersando residuos a régimen constante. El quemador utilizado, fue modificado para tener mayor entrada de aire debido a la cantidad de agua presente en la combustión, así obtener una mezcla de combustible óptima; la dispersión del residuo se dio paralela a la flama.

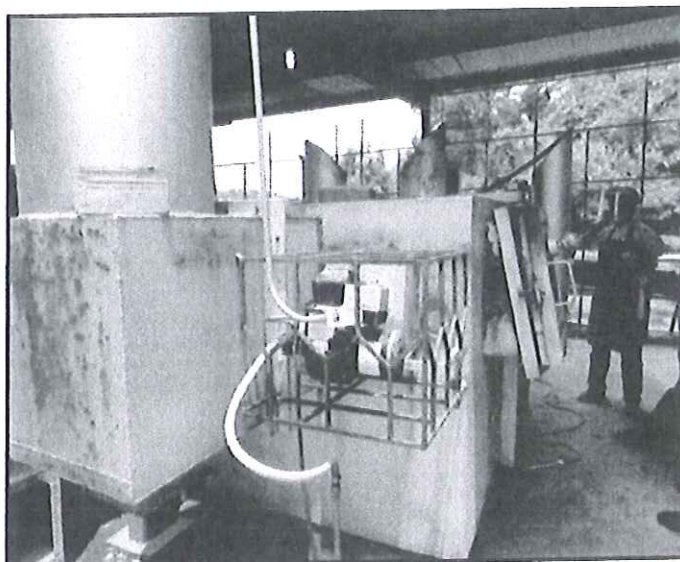
- El rango de operación del sistema de pruebas estuvo alrededor de 800°C-950°C, temperatura donde se estabilizó la cámara de combustión principal, en el cual se desarrollaron las pruebas de dispersión, estableciendo la mejor manera de eliminar este residuo.
- Las boquillas de dispersión utilizadas fueron elegidas durante las pruebas de campo; por que surgieron problemas al obstaculizarse o por demandar un excesivo caudal, para una presión de operación de 20psi. Con el uso adecuado de un quemador se podrá tener una combustión eficiente.
- El agua de sentina no es una mezcla homogénea, por lo cual se estimó la viscosidad por pruebas de laboratorios. Encontrándose en un rango entre aceite y agua, este parámetro no es del todo claro, puede afectar directamente a la dispersión y la formación de las gotillas que se dan en la cámara, afectando la tensión superficial, entre otros, parámetros que no están establecidos en este proyecto.

- La capacidad establecida para el dimensionamiento de un sistema de $2 \frac{\text{Ton}}{\text{día}}$, fue implantada en consultas y visitas a empresas de Gestoras Ambientales y experiencias de grupo del CDTs.
- En las pruebas se utilizó un quemador diésel pudiendo aumentar la cantidad de partículas dispersas por el residuo presente, Sin embargo la adecuada implementación de la cámara de postcombustión deberá encargarse de eliminar los gases no quemados en la primera etapa.
- Se realizó un análisis de costos detallado para un sistema de $2 \frac{\text{Ton}}{\text{día}}$, los materiales más representativos son los refractarios, material costoso, y la implementación del sistema lavador de gases. Otro factor a considerarse es el mantenimiento a las cámaras, donde según el excesivo uso se estimó cambiar los refractarios cada 5 años. Finalmente se realizó un análisis de costos para sistemas de 5,10 toneladas y estimar cuanto podría costar diferentes proyectos.

7.2 Recomendaciones

- La eliminación de desechos peligrosos conlleva a la usanza de las normas ambientales del medio donde se desarrolle el proyecto, un estudio de impacto ambiental previo, determina los requisitos para la obtener la licencia ambiental
- Se deberá tener un medio de pre filtración, para evitar obstaculizar las boquillas de dispersión en la cámara principal, y se deberá considerar el aire complementario para lograr una buena combustión
- Empleara una parrilla recolectora para residuo disperso no combustionado evitando que se pegue en la base de la cámara y pudiendo retirar las cenizas
- El sistema de depuración de gases deberá captar los gases a la salida de la postcombustión. Neutralizando la acides, separando ciertos gases volátiles, separar partículas, retenerlas, enfriar los gases para ser lanzados hacia la chimenea y posteriormente a la atmosfera. Con un límite de temperatura de salida de 150°C, evitando formación de estelas de vapor que serán dispersas como particulado.

APÉNDICES



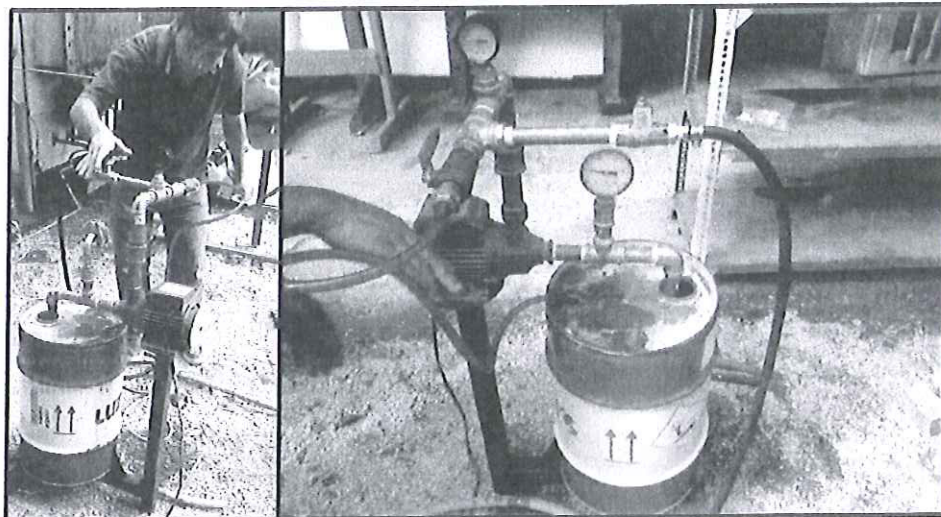
**FIGURA: A1, INCINERADOR
DESECHOS PELIGROS
FUENTE:[19]**



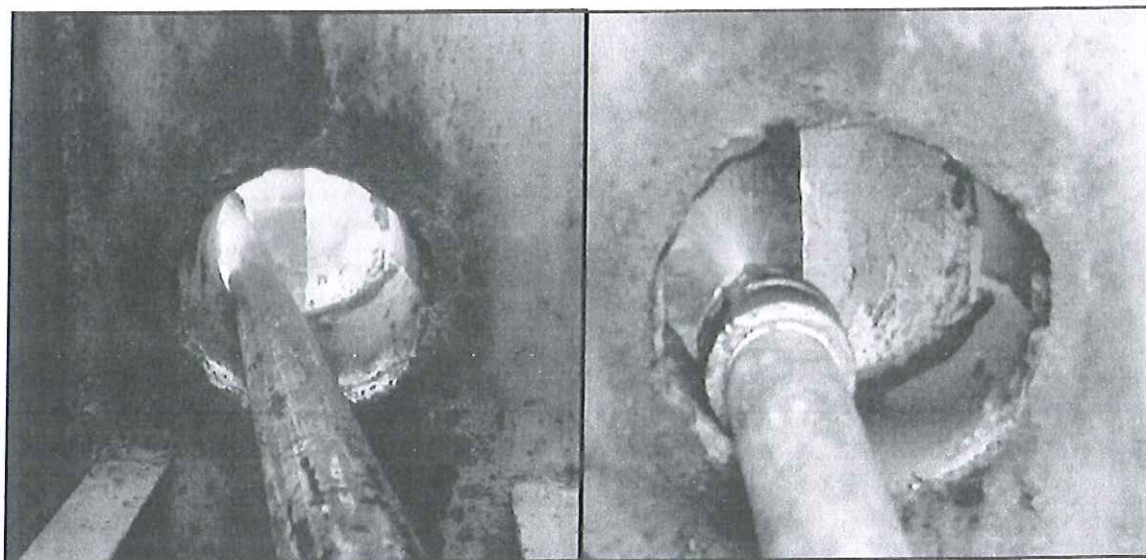
**FIGURA: A2, PRUEBAS DE
ESTABILIDAD DE CÁMARA
FUENTE:[19]**

TABLA A1

TEMPERATURAS DE CÁMARA PRINCIPAL OBTENIDA EN PRUEBAS EXPERIMENTALES DE CAMPO				
Tiempo(min)	Día 1	Día 2	Día 3	Promedio
	Temperatura(°C)	Temperatura(°C)	Temperatura(°C)	Temperatura(°C)
0	25	28	25	26
3	100	81	119	100
5	300	241	355	299
7	510	448	595	518
10	648	608	720	659
12	722	700	740	721
14	733	730	751	738
15	742	739	759	747
19	760	755	766	760
24	781	775	789	782
29	800	794	808	801
34	822	816	830	823
39	837	833	845	838
44	852	848	858	853
49	860	858	865	861
54	869	866	873	869
59	878	875	882	878
69	900	894	906	900



**FIGURA: A3, EQUIPO
EXPERIMENTAL PARA PRUEBAS
DE CAMPO (DISPERSIÓN)**

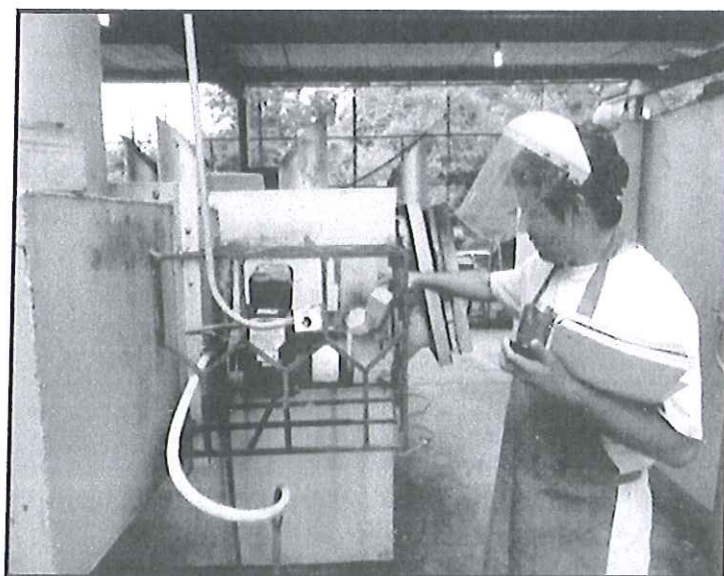


**FIGURA: A4 Dispensión en
cámara desechos peligrosos
FUENTE:[19]**



**FIGURA: A5, TOMA DE DATOS
DE PRUEBAS DE CAMPO
FUENTE:[19]**

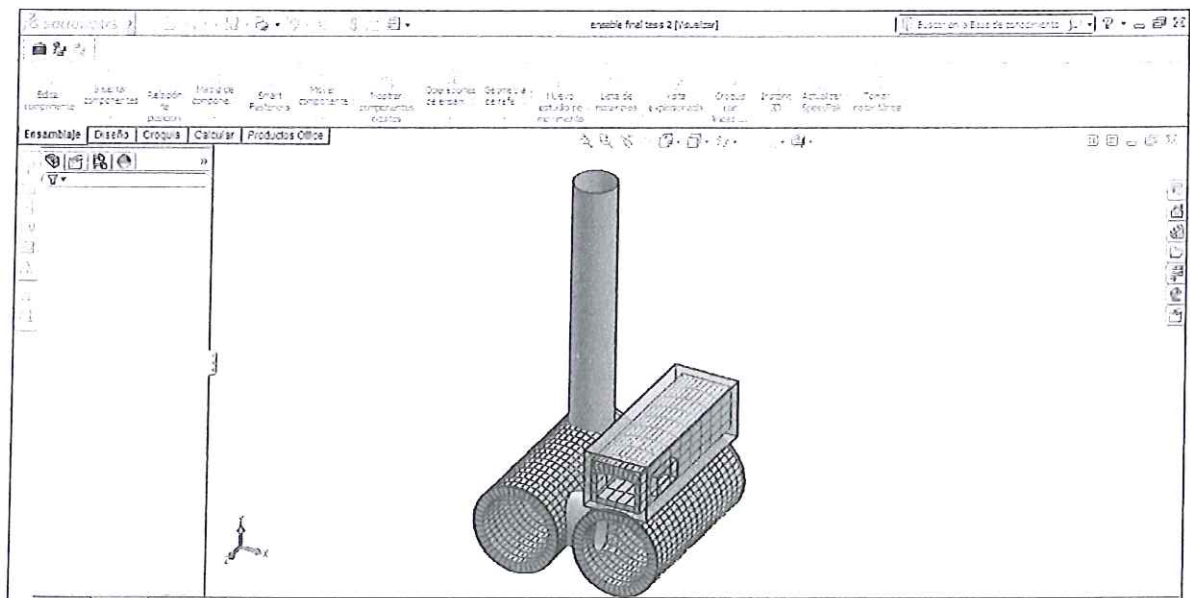
**FIGURA: A6, Termocuplas en
cámara de combustión
FUENTE:[19]**



**FIGURA: A7, TOMA DE DATOS
DE PRUEBAS DE CAMPO
FUENTE:[19]**

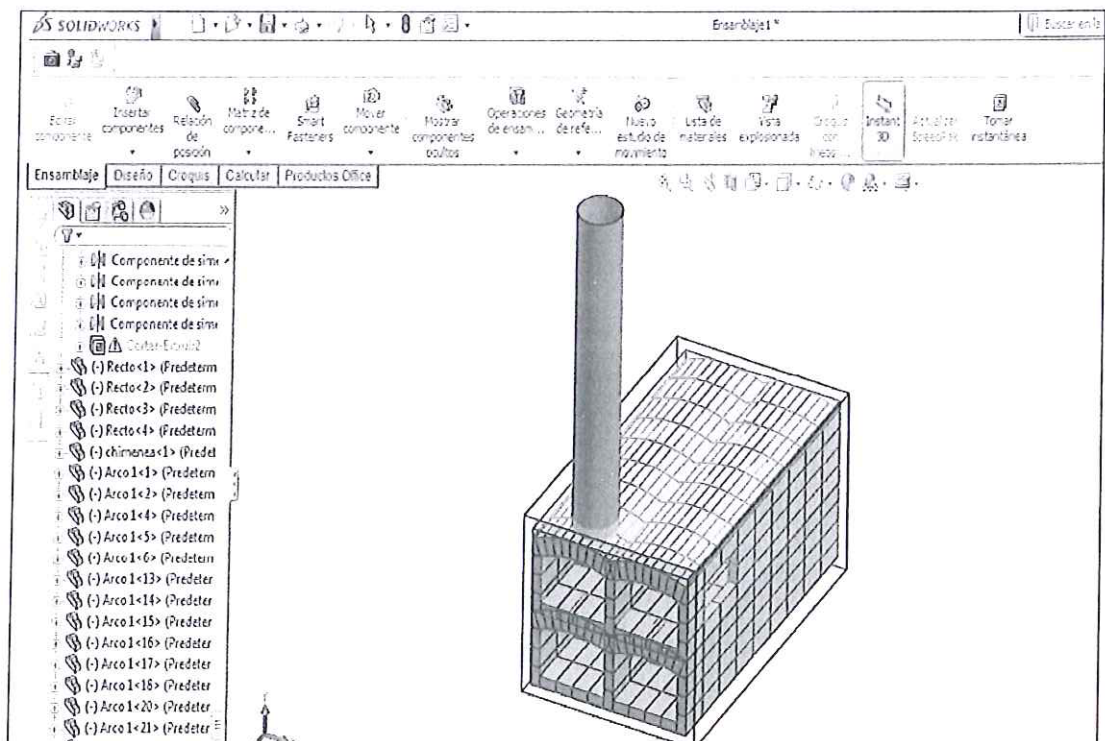
APÉNDICES B

Se muestran arreglos para la elaboración del proyecto, con cámara de post combustión doble debido a la longitud requerida para un área de sección transversal estimada. La diferencia de este modelo, es que cada cámara de combustión debe de ser aislada independientemente, y su complejidad al ser cilíndrica pudiendo elevar más los costos por mano de obra. Ver figura A



**FIGURA : B1 – DISEÑO DE FORMA 1-
SOLIDWORKS®**

El dimensionamiento establecido, por las paredes internas, auto sustentable, tendrá una sola configuración de aislamiento térmico de cámara principal y post cámara de combustión haciendo más factible la implementación del proyecto, *Fuente –CDTS Espol.



**FIGURA : B2 – DISEÑO DE FORMA 2-
SOLIDWORKS®**

APÉNDICE C

HOJA TÉCNICA DEL QUEMADOR UTILIZADO EN LAS PRUEBAS DE CAMPO


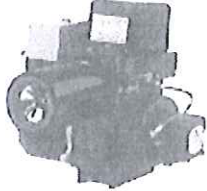



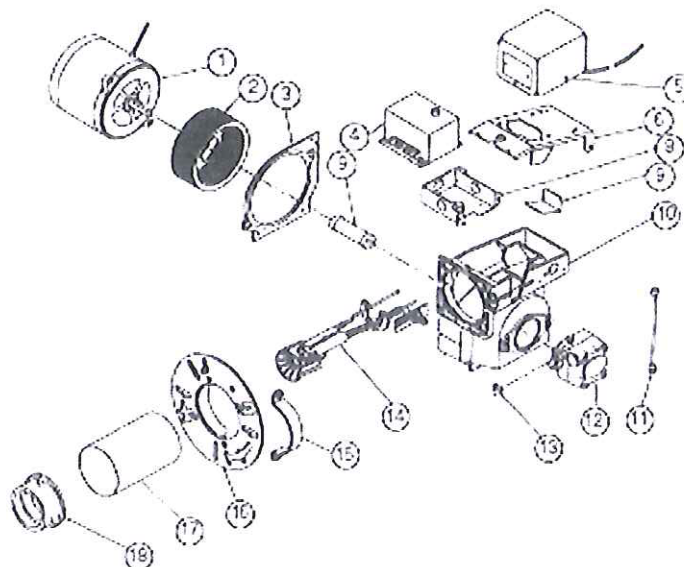
 801 Glasgow Ave. Fort Wayne, IN 46803	MODEL HS OIL BURNERS <i>BA</i> <small>Publication Date 01/01/04 Revision 13 Manual 21563 U.S. Patent No. 4,388,064</small>											
 <p style="text-align: center;">⚠ WARNING ELECTRIC SHOCK HAZARD</p> <p>HIGH VOLTAGES ARE PRESENT IN THIS EQUIPMENT. FOLLOW THESE RULES TO AVOID ELECTRIC SHOCK.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▲ Use only a properly grounded circuit. A ground fault interrupter is recommended. ▲ Do not spray water directly on burner. ▲ Turn off power before servicing. ▲ Read the owner's manual before using. 	 <p style="text-align: center;">⚠ WARNING OVERHEATING HAZARD</p> <p>SHOULD OVERHEATING OCCUR:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▲ Shut off the manual oil valve to the appliance. ▲ Do not shut off the control switch to the pump or blower. 	<p style="text-align: center;">⚠ WARNING NEVER ATTEMPT TO USE GASOLINE AS A FUEL FOR THIS BURNER, AS IT IS MORE COMBUSTIBLE AND COULD RESULT IN A SERIOUS EXPLOSION.</p>										
<h2 style="margin: 0;">SPECIFICATIONS</h2>												
<p>FUELS Use No. 1 or No. 2 heating oil (ASTM D-396) only. * NEVER burn garbage or refuse in the heating unit. * NEVER try to ignite oil by tossing burning paper or other material into the heating unit. * NEVER burn waste or crankcase oil in the heating unit.</p>												
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>FIRING CAPACITIES - MODEL HS 0.50 TO 3.00 GALLONS PER HOUR • See page 6. 70,000 TO 420,000 BTU/Hr INPUT</p> <p>FUEL UNIT Sintered or Danfoss</p> <p>MOUNTING Rigid Flange, Adjustable Flange, or Base Mount</p> <p>ELECTRICAL Power Supply 115V / 60HZ / 1 PH Motor 3450 RPM, N.E.M.A. Flange, Manual Reset Overload Protection Ignition 10,000V / 23MA secondary, Continuous Duty-Shielded Interrupted</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>FOR YOUR SAFETY DO NOT STORE OR USE GASOLINE OR OTHER FLAMMABLE VAPORS AND LIQUIDS IN THE VICINITY OF THIS OR ANY OTHER APPLIANCE.</p> <p style="text-align: center;">CAUTION</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div> <p>Wayne® Fuel Blend Shipped with small residual amounts of Wayne® Fuel Blend from testing. See instruction Manual for Safety Information. COMBUSTIBLE LIQUID Contains Hazardous</p> </div> </div> </div> </div>												
<p>DIMENSIONS (STANDARD)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">HEIGHT</td> <td style="width: 40%; text-align: right;">12 1/2"</td> </tr> <tr> <td>WIDTH</td> <td style="text-align: right;">12 7/8"</td> </tr> <tr> <td>DEPTH</td> <td style="text-align: right;">7 3/4"</td> </tr> <tr> <td>CENTER LINE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>OF TUBE TO FLOOR</td> <td style="text-align: right;">7"</td> </tr> </table>			HEIGHT	12 1/2"	WIDTH	12 7/8"	DEPTH	7 3/4"	CENTER LINE		OF TUBE TO FLOOR	7"
HEIGHT	12 1/2"											
WIDTH	12 7/8"											
DEPTH	7 3/4"											
CENTER LINE												
OF TUBE TO FLOOR	7"											
<p>INSTALLATION OF BURNER</p> <p>INSTALLATION OF THE BURNER MUST BE DONE BY A QUALIFIED INSTALLER IN ACCORDANCE WITH REGULATIONS OF THE NATIONAL FIRE PROTECTION STANDARD FOR OIL-BURNING EQUIPMENT, NFPA NO. 31, AND IN COMPLETE ACCORDANCE WITH ALL LOCAL CODES AND AUTHORITIES HAVING JURISDICTION.</p> <p>A QUALIFIED INSTALLER IS THE PERSON WHO IS RESPONSIBLE FOR THE INSTALLATION AND ADJUSTMENT OF THE EQUIPMENT AND WHO IS LICENSED TO INSTALL OIL-BURNING EQUIPMENT IN ACCORDANCE WITH ALL CODES AND ORDINANCES.</p> <p style="text-align: center;">THESE INSTRUCTIONS SHOULD BE AFFIXED TO THE BURNER OR ADJACENT TO THE HEATING APPLIANCE.</p>												

FIGURA : C1
Fuente: WAYNE – Model HS Oil Burners

BURNER COMPONENTS - MODEL HS



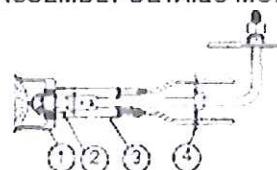
STATE SPECIFICATION NUMBER, BURNER MODEL, PART DESCRIPTION AND PART NUMBER WHEN ORDERING PARTS

NO.	DESCRIPTION	PART NO	NO.	DESCRIPTION	PART NO
1	Motor-1/7HP	20627	13	Elbow	13494
2	Blower Wheel	21642	14	Gun ASM 6"	100926-013
3	Motor Side Plate	21659		Gun ASM 9"	100926-025
4	Relay	101266-003		Gun ASM 12"	100926-037
5	Transformer	21659-002		Gun ASM 15"	100926-049
6	Housing Cover	21690		Gun ASM 18"	100926-061
7	Baffle, Static-65 DEG.	63266-006	15 - 16	Adjustable Flange (incl. Gasket)	21724-011
	Baffle, Static-30 DEG.	63266-013	17	Air Tube 6"	21896-013
9	J-Box	21319		Air Tube 9"	21896-025
9	Coupling	100686		Air Tube 12"	21896-037
10	Housing	30926-030		Air Tube 15"	21896-049
11	Oil Line ASM 6"	14451		Air Tube 18"	21896-061
12	Fuel Unit Type A Surtec	13495	19	Air Cone 0.50 - 2.50	100420
	Fuel Unit Danfoss 1 Stage	100714-001		Air Cone 2.50 - 3.00	100531-001
	Fuel Unit Type B Surtec	13634			

NO.	DESCRIPTION	PART NO
1	Flamelock ASM 10 Vane	100393-SER
2	Nozzle Adapter	12362
3	Electrode ASM - All Units*	100989-061
4	Bus Bar Support	13276-002

*Out contact rods to length in field.

GUN ASSEMBLY DETAILS MODEL HS



NOTE: BACKSIDE OF FLAMELOCK TO NOZZLE FACE.

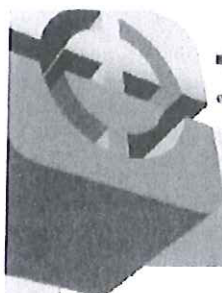
BLUE ANGEL™ REPLACEMENT AIR TUBE COMBINATIONS

Includes Air Tube, Air Cone and Gun Assembly			
Air Tube Combination – 6"	30694-019C	Air Tube Combination – 15"	30694-049C
Air Tube Combination – 9"	30694-025C	Air Tube Combination – 18"	30694-061C
Air Tube Combination – 12"	30694-037C		

FIGURA : C2

Fuente: WAYNE – Model HS Oil Burners

**CARACTERÍSTICAS DE LOS LADRILLOS REFRACTARIOS QUE
CONFORMA LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE PRUEBAS**



ERECOS

empresa de refractarios colombianos s.a.

**LADRILLOS REFRACTARIOS
AISLANTES**

UA - 36

Clasificación		Aislante
NTC -815, ASTM C-155		Grupo 26
Análisis Químico %		
Al ₂ O ₃	34.0	
SiO ₂		61.0
Fe ₂ O ₃		1.0
TiO ₂		1.2
CaO		0.3
MgO		0.4
Álcalis		1.8
Cono Pirométrico Equivalente (PCE)		32
Temperatura Equivalente (°C)		1717
NTC -706, ASTM C-24		
Porosidad Aparente (%)		66.0 - 71.0
ASTM C-20		
Densidad volumétrica (g/cm ³)		0.74 - 0.86
ASTM C-134		
Resistencia a la compresión en frío. Mpa (kg/cm ²)	1.5 - 3.5 (15 - 35)	
Módulo de ruptura en frío. Mpa (kg/cm ²)	0.8 - 2.0 (8 - 20)	
NTC -602, ASTM C-133		
Cambio lineal permanente (°C - %)	1230 0.0 - 0.1C	
NTC -859, ASTM C-210	1400 0.5C - 1.3C	
Conductividad térmica, a temperatura media, (°C- kcal/m hr K)	819 0.274	
ASTM C-201	1060 0.413	

FIGURA : C3
Fuente: EREPOS

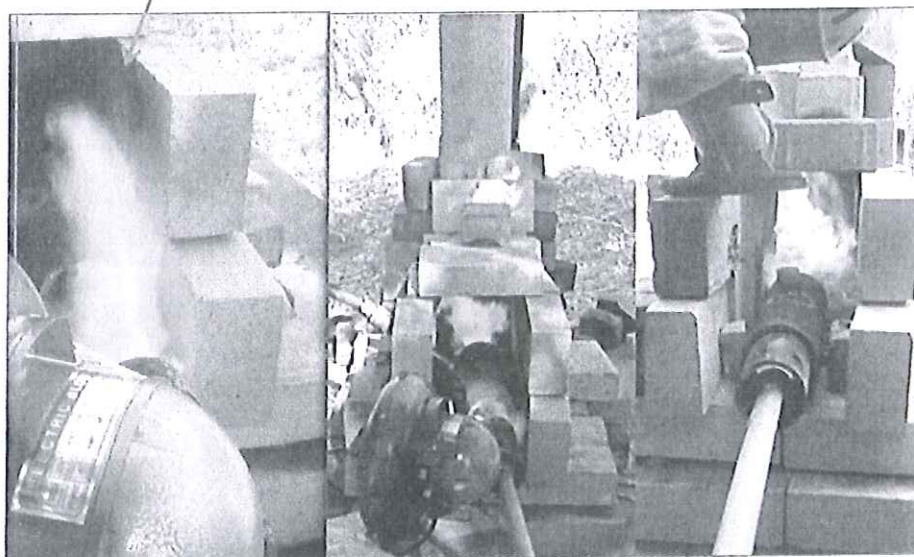
Experimentaciones preliminares

En las pruebas preliminares de campo se observó el comportamiento de cómo se incineraban los lodos de fondo y los residuos de agua de sentina mediante la implementación de un sistema básico, determinando que hay energía por parte del residuo y que puede ser auto sustentable, sin embargo se requiere una llama piloto, el combustible utilizado en estas pruebas



FIGURA: D1 PRUEBAS DE INCINERACIÓN PRELIMINARES

Estabilización de
llama del quemador

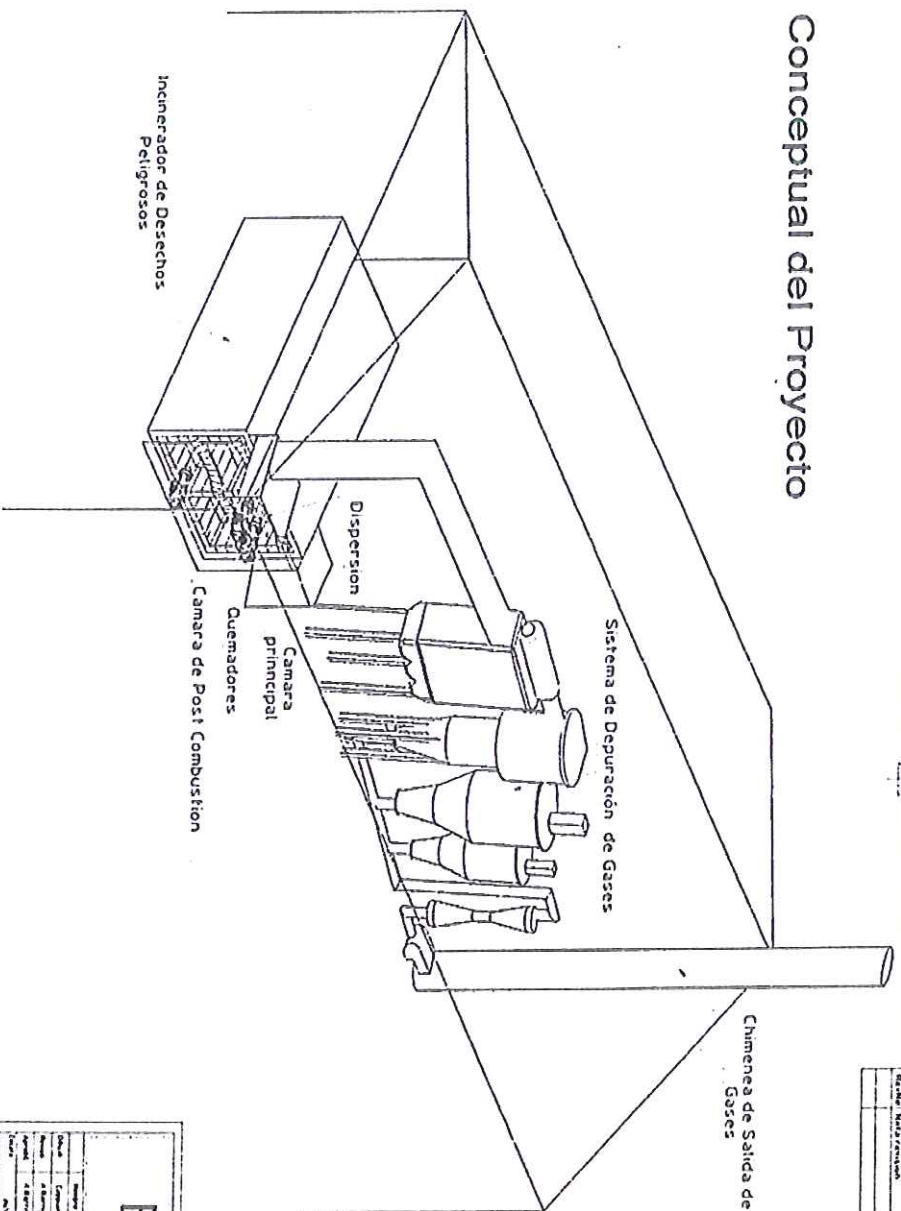


**FIGURA: D1 COMBUSTIÓN DE
RESIDUO EN CÁMARA DE
PRUEBAS**

PLANO #1

IMPLEMENTACIÓN CONCEPTUAL DEL PROYECTO

Conceptual del Proyecto



Estado	Modificación	Fecha	Descripción	Revisión	Aprobación

Estructura - Cubierta

ESPOL - FIMCP

Nombre	Apellido	Proyecto	Fecha	Estado	Revisión
ESPOL	FIMCP	Incinerador para desechos de Aguas de San José	2024	En Progreso	1

FUENTE: Conceptual 3D - Diseño de forma -

Archivos

Bibliografía

1. Alfredo Barriga, P. –L. (2003). Caso de Estudio de Dispersión al entorno de Contaminantes de la Estela . *Sistematización de Procedimiento para Dimensionamiento de Chimeneas en Sistemas de Combustión Industrial*. GYE , ECUADOR : ESPOL.
2. Obtenido de <http://www.datuopinion.com/sentina>
3. Barriga, P. A. (2013 - II Término). Fuentes Renovables de Energia . *Esquema de dispersion de residuos de Hidrocarburo* . GYE :
4. ESPOL.Barriga, P. A. (2013 I TERMINO). Sistema de Conversion de energia. GYE: ESPOL.
5. CORANTIQUIA. (2014). *Corantioquia – Requerimientos Técnicos y Normativos para hornos incineradores*.
6. Dimer. (2014). Cantidad Estimada de residuos producidos en los principales puertos . *Residuos* .
7. Frank P. Incropera, D. d. (199). *Fundamentos de trasferencia de Calor* . USA: PRENTICE HALL.
8. Guayaquil, U. d. (2015). Banco de Capilares para determinar la viscosidad. *Laboratorio de petroleo*. GUAYAQUIL, ECUADOR.
9. MARPOL. (2013). BILGE WATER SEPARATION RELIABLE. . *Powerful*.
10. Marpol. (2014 - Actualidad). Convenio Marpol .
11. Mcallister, P. S. (-). *Fundamentals of combustion*. SPRINGS.
12. McDonald, F. (1983). *Mecánica de Fluidos*. McGraw-Hill, Nueva Editorial Interamericana.

13. SYSTEMS, S. (2015). Sistemas de Dispersión. *Spraying Systems*.
14. Trinks, w. (2004). *Furnaces Industrial* . Usa: John Wiley & Sons.
15. Witt, I. -D. (199). *Fundamentos de Transferencia de calor* . USA: Prentice Hall .
16. Gestor Ambiental. Visita técnica Consorcio Armas. (Febrero 2015).
17. Gestor Ambiental. Visita técnica Desechos Peligrosos. (Febrero a abril de 2015).
18. Arrocerá Laurel. Visita técnica. (Noviembre de 2014).
19. CDTs – FIMCP-ESPOL (Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable)-
20. <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/442584/paraffin-hydrocarbon>