



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE CREMACIÓN
PARA LA INCINERACIÓN DE RESIDUOS BIOLÓGICOS
GENERADOS EN EL BIOTERIO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO”**

Trabajo de Titulación:

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTORES: MARIELA ISABEL GUERRERO NOBOA

ISAAC HERNÁN TENE LÓPEZ

DIRECTOR: Ing. PAÚL GUSTAVO PALMAY PAREDES

Riobamba – Ecuador

2020

©2020, Mariela Isabel Guerrero Noboa e Isaac Tene López

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Mariela Isabel Guerrero Noboa e Isaac Hernán Tene López, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 15 de mayo de 2020

Mariela Isabel Guerrero Noboa

C.I.180435543-4

Isaac Hernán Tene López

C.I. 065003932-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Los miembros del Trabajo de Titulación certifican que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Técnico, **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE CREMACIÓN PARA LA INCINERACIÓN DE RESIDUOS BIOLÓGICOS GENERADOS EN EL BIOTERIO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”**, realizado por la señorita: **MARIELA ISABEL GUERRERO NOBOA** y por el señor: **ISAAC HERNÁN TENE LÓPEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Daniel Antonio Chuquín Vasco PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: DANIEL ANTONIO CHUQUIN VASCO	2020 – 05 - 15
Ing. Paúl Gustavo Palmay Paredes DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado electrónicamente por: PAUL GUSTAVO PALMAY PAREDES	2020 – 05 - 15
Dra. Lourdes Janneth Jara Samaniego MIEMBRO DEL TRIBUNAL	LOURDES JANNETH JARA SAMANIEGO Firmado digitalmente por LOURDES JANNETH JARA SAMANIEGO Fecha: 2020.08.17 11:22:48 -05'00'	2020 – 05 - 15

DEDICATORIA

Al dueño universal de la vida, al padre celestial y a la Santísima Virgen María, que con su infinita misericordia y sabiduría me concedieron fortaleza y sostuvieron mis pasos en momentos de obnubilación y dificultad y con su licencia me permitieron dar un paso más en mi vida académica.

A mis amorosos padres, Rosalino Guerrero y Mariela Noboa, protagonistas de mi existencia, quienes son el motor de mi vida y motivo de inspiración, y han sido mi principal apoyo para la consecución de mis metas.

A mi hermano, Eduardo, amigo sin excepción, quien me brindó su apoyo, ocurrencias y compañía en innumerables viajes a lo largo de nuestra carrera, forjando día a día una travesía inolvidable.

A mi abuelita y madrina, Isabel Paredes, quien me extendió la mano de manera incondicional en el curso de mi vida estudiantil.

Mariela Isabel

A Dios por bendecirme la vida, darme la fuerza y salud necesaria para poder alcanzar este logro importante dentro de mi formación profesional.

A mis padres: Carlos y Rosaura, a mis hermanos: Fermín, Sandra, Nelly, Darwin, Diego y Valeria, a mis cuñados: Patricio, Imelda y María, por el apoyo incondicional, por estar siempre presentes en todo momento con consejos y palabras de aliento; a mis sobrinos: Alexander, Mayerli, Amaya, Frederik, Esau, por las ocurrencias y siempre sacar una sonrisa; a mis tíos: Asencio y Estefa; a mis primos y a toda mi familia.

A mi amiga Isabel: por el apoyo, por la paciencia, por los consejos y palabras de aliento, y además de ser la principal colaboradora, quien con sus conocimientos, enseñanza y colaboración permitió desarrollar el trabajo de titulación.

Al BQF. Benjamín Román Santos por proporcionar la apertura de desarrollar en trabajo de titulación en el Bioterio, así como de ser un amigo, una persona más de la tesis que me ha dado todo su apoyo y consejos. A mi tutor: Ing. Paúl Palmay y asesora: Dra. Janneth Jara por la paciencia, el conocimiento que me ha impartido y ser guías durante todo la tesis.

Isaac Hernán

AGRADECIMIENTO

Mi sentida gratitud a Dios, a la bonísima Virgen María y a San Pablo apóstol, por ser mi fuente de sabiduría, paciencia y paz.

A mis padres, hermano y familia, por su amor y apoyo incondicional, por cada palabra de aliento, por cada sonrisa y abrazos compartidos, por cada consejo, por cada viaje emprendido, por cada espera y cada sorpresa a mi llegada, por darme la oportunidad de crecer y cumplir cada requerimiento académico durante mi vida estudiantil. A mi abuelita, desde la distancia por su cariño y ayuda. A mis tías, Juanita Guerrero y Martha Noboa por valorar y respaldar mi esfuerzo.

Extiendo mi agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Ciencias, a la Escuela de Ingeniería Química por poner sus aulas, laboratorios y planta docente para mi formación académica, de manera especial al Ing. Paúl Palmay y a la Dra. Janneth Jara, Director y Colaboradora del Trabajo de Titulación quienes concedieron su conocimiento, tiempo, paciencia y guía en el desarrollo del presente trabajo.

Al BQF. Benjamín Román, Técnico Docente del Bioterio, una gran persona, profesional y amigo, quien depositó su entera confianza y con su característica alegría supo tender una mano amiga y de ayuda para la cristalización del presente trabajo.

A Isaac Tene, amigo y compañero en la carrera y en la realización del Trabajo de Titulación, por compartir conocimiento, unir esfuerzos y confiar en el desarrollo conjunto de este trabajo.

Mariela Isabel

A Dios por darme fuerza para desarrollar y culminar este proyecto, y alcanzar una de las metas más importantes de mi vida.

A mis padres y hermanos: que gracias a su trabajo, confianza y sacrificio en todos estos años, he logrado culminar este proceso. Ha sido un orgullo ser parte de ustedes.

A Isabel por la confianza, apoyo y ser parte indispensable en el trabajo de titulación, y ser amiga en toda la carrera. Y a todas las personas que ha aportado para que se lleve a cabo, en especial al BQF. Benjamín Román Santos.

Isaac Hernán

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
INDICE DE ANEXOS.....	xviii
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xx
CAPÍTULO I	1
1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	1
1.1. Identificación del problema	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. <i>General</i>	2
1.3.2. <i>Específicos</i>	2
CAPÍTULO II.	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA O FUNDAMENTOS TEORICOS	3
2.1. Incineración.....	3
2.1.1. <i>Definición y finalidad</i>	3

2.1.2.	<i>Incineración de Residuos</i>	3
2.1.2.1.	<i>Clasificación de Residuos</i>	4
2.2.	Hornos	7
2.2.1.	<i>Definición</i>	8
2.2.2.	<i>Esquema de un Horno</i>	8
2.2.3.	<i>Clasificación</i>	9
2.2.4.	<i>Objetivos de Diseño</i>	11
2.2.5.	<i>Aplicaciones</i>	11
2.2.5.1.	<i>Incineradores y hornos de recuperación</i>	11
2.3.	Proceso de Combustión	12
2.3.1.	<i>Combustión Completa</i>	13
2.3.2.	<i>Combustión Incompleta</i>	13
2.3.3.	<i>Aire Teórico o Estequiométrico</i>	14
2.3.4.	<i>Aire en Exceso</i>	14
2.3.4.1.	<i>Importancia</i>	14
2.3.5.	<i>Aire Seco</i>	15
2.3.6.	<i>Aire Húmedo</i>	15
2.3.6.1.	<i>Ley de Raoult</i>	15
2.3.7.	<i>Relación del Aire Combustible</i>	15
2.3.8.	<i>Física de la Combustión</i>	16
2.3.8.1.	<i>Rol Aire Primario</i>	17
2.3.8.2.	<i>Rol Aire Secundario</i>	17
2.4.	Combustibles	17

2.4.1.	<i>Sólidos</i>	18
2.4.2.	<i>Líquidos</i>	18
2.4.2.1.	<i>Gasóleo o Diesel</i>	18
2.4.3.	<i>Gaseosos</i>	19
2.4.3.1.	<i>Gas Licuado de Petróleo (GLP)</i>	19
2.4.4.	<i>Elección del Combustible</i>	20
2.5.	Fundamentos para Balance Energía en Procesos Reactivos	21
2.5.1.	<i>Calor</i>	21
2.5.2.	<i>Capacidad Calorífica</i>	21
2.5.3.	<i>Calor Sensible</i>	22
2.5.4.	<i>Calor Latente</i>	22
2.5.4.1.	<i>Calor de Fusión</i>	22
2.5.4.2.	<i>Calor de Vaporización</i>	23
2.5.5.	<i>Reacciones de Formación y Calores de Formación</i>	23
2.5.5.1.	<i>Calor de Formación</i>	23
2.5.5.2.	<i>Calor de Combustión</i>	23
2.5.6.	<i>Entalpía de Reacción</i>	23
2.5.7.	<i>Temperatura Adiabática de Flama</i>	24
2.6.	Transferencia de Calor	24
2.6.1.	<i>Formas de transferencia</i>	25
2.6.1.1.	<i>Conducción</i>	25
2.6.1.2.	<i>Convección</i>	26
2.6.1.3.	<i>Radiación</i>	27

CAPÍTULO III	29
3. MARCO METODOLÓGICO	29
3.1. Localización del Proyecto	29
3.2. Ingeniería del Proyecto	30
3.2.1. Tipos de Estudio.....	30
3.2.2. Métodos	31
3.2.3. Técnicas	32
3.2.3.1. Identificación de la muestra.	32
3.2.3.2. Recolección de la muestra.....	32
3.2.4. Obtención a escala de laboratorio de la temperatura óptima de diseño.	33
3.2.4.1. Equipo Utilizado.....	33
3.2.4.2. Metodología.....	33
3.2.4.3. Determinación de la temperatura y tiempo de cremado.	34
3.2.4.4. Datos Experimentales.....	34
3.2.4.5. Identificación de Variables.....	35
3.2.5. Dimensiones del equipo.	35
3.3. Cálculos para el diseño del horno incinerador.....	36
3.3.1. Balance Estequiométrico.....	36
3.3.1.1. Reacción de Combustión del Dodecano.....	36
3.3.1.2. Cálculo de la Humedad del Aire	36
3.3.1.3. Cálculo de Requerimiento de Oxígeno Estequiométrico	39
3.3.1.4. Cálculo del exceso de aire (50%).....	39
3.3.1.5. Cálculo de Aire a la entrada	39

3.3.1.6.	<i>Cálculo del Dióxido de Carbono producido</i>	39
3.3.1.7.	<i>Cálculo del Vapor de Agua producido</i>	40
3.3.1.8.	<i>Reacción de combustión completa</i>	41
3.3.2.	<i>Temperatura Adiabática de Flama</i>	41
3.3.2.1.	<i>Cálculo del Calor de Reacción.....</i>	41
3.3.2.2.	<i>Cálculo de la Capacidad Calorífica (T = 25°C).....</i>	41
3.3.2.3.	<i>Cálculo de la Temperatura adiabática de Flama.....</i>	43
3.3.3.	<i>Balance de Masa o Materia</i>	44
3.3.3.1.	<i>Cálculo del Flujo Másico de Combustible (Diésel)</i>	44
3.3.3.2.	<i>Cálculo del Flujo Volumétrico de Combustible (Diésel)</i>	44
3.3.3.3.	<i>Cálculo de Flujo Másico de Aire Requerido</i>	45
3.3.3.4.	<i>Cálculo de Flujo Volumétrico de Aire Requerido</i>	46
3.3.3.5.	<i>Cálculo del flujo de los gases de combustión</i>	46
3.3.4.	<i>Balance de Energía</i>	47
3.3.5.	<i>Calor mínimo necesario para quemar la muestra</i>	50
3.3.5.1.	<i>Cálculo de la energía de desnaturalización de la proteína.....</i>	50
3.3.5.2.	<i>Cálculo de la energía necesaria para quemar carne</i>	51
3.3.5.3.	<i>Cálculo de la energía para vaporizar el agua contenida en la muestra</i>	52
3.3.5.4.	<i>Cálculo de la energía Total mínima para quemar la muestra</i>	53
3.3.6.	<i>Cálculos Geométricos para dimensionamiento</i>	53
3.3.6.1.	<i>Cámara Principal.....</i>	53
3.3.6.2.	<i>Cálculo del espesor de la pared</i>	57
3.3.6.3.	<i>Cálculo para la capa de cemento refractario.....</i>	58
3.3.6.4.	<i>Cálculo para la recubierta con acero inoxidable.....</i>	60
3.3.7.	<i>Cálculo de Transferencia de Calor a través de las paredes</i>	62
3.3.7.1.	<i>Cálculo de la Temperatura de externa del horno.....</i>	62

3.3.8.	<i>Cálculos de dimensionamiento de la chimenea</i>	62
3.3.8.1.	<i>Cálculo de la velocidad de los gases de combustión</i>	63
3.3.8.2.	<i>Cálculo del tiro útil por 100 m de chimenea en mm de agua</i>	63
3.3.8.3.	<i>Cálculo de la altura real de la chimenea</i>	64
CAPÍTULO IV		65
4.	RESULTADOS	65
4.1.	Resultado de las corrientes	65
4.2.	Resultados de los parámetros de operación	66
4.3.	Resultados del Dimensionamiento Geométrico	66
4.3.1.	<i>Dimensiones Internas</i>	66
4.3.2.	<i>Dimensiones Externas</i>	67
4.3.3.	<i>Volúmenes</i>	67
4.3.4.	<i>Resultados de la variación de temperaturas a través de las paredes del equipo</i>	68
4.3.5.	<i>Resultado del Dimensionamiento de la Chimenea</i>	68
4.3.6.	<i>Resultado del Dimensionamiento de la puerta</i>	68
4.3.7.	<i>Elección de los materiales</i>	69
4.3.7.1.	<i>Para la Construcción</i>	69
4.3.7.2.	<i>Para el Control y Automatización</i>	70
4.3.8.	<i>Control Automático</i>	70
4.3.9.	<i>Resultados de la medición de emisiones atmosféricas</i>	71
4.3.10.	<i>Efectividad de reducción a cenizas</i>	72

4.3.11.	<i>Análisis de Costos</i>	72
4.3.11.1.	<i>Costos de Recursos Humanos</i>	72
4.3.11.2.	<i>Costos de Recursos Materiales</i>	73
4.3.11.3.	<i>Otros Costos</i>	74
4.3.11.4.	<i>Costo Total</i>	74
 CONCLUSIONES		75
 RECOMENDACIONES		77
 BIBLIOGRAFÍA		
 ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Clasificación de residuos peligrosos.....	6
Tabla 2-2:	Ejemplos de hornos que cumplen la clasificación especificada en el diagrama.....	10
Tabla 3-2:	Modelo transferencia de calor	25
Tabla 1-3:	Localización del proyecto.....	29
Tabla 2-3:	Procedimiento para la Obtención de la Temperatura de Cremado.....	33
Tabla 3-3:	Datos Experimentales de las pruebas de cremado.....	34
Tabla 4-3:	Dato Experimental de precalentamiento del Horno.....	34
Tabla 5-3:	Identificación de variables en función a la prueba realizada.....	35
Tabla 6-3:	Composiciones molares en la reacción de combustión	40
Tabla 7-3:	Datos de Entalpía de Formación y Coeficientes para Capacidad Calorífica	42
Tabla 8-3:	Capacidad Calorífica a Temperatura Estándar	42
Tabla 9-3:	Composición de las proteínas.....	50
Tabla 10-3:	Medidas Internas para la Cámara Principal	53
Tabla 1-4:	Resultados de corrientes de flujos de combustible, aire y gases de combustión	65
Tabla 2-4:	Resultados de requerimientos para la operación del horno incinerador	66
Tabla 3-4:	Dimensiones internas de la cámara principal	66
Tabla 4-4:	Dimensiones Externas del equipo de incineración	67
Tabla 5-4:	Resultados de volúmenes	67
Tabla 6-4:	Resultados del perfil de temperatura en cada pared del equipo.....	68
Tabla 7-4:	Dimensiones para la chimenea	68
Tabla 8-4:	Dimensiones para la puerta	68
Tabla 9-4:	Especificaciones del acero naval	69
Tabla 10-4:	Propiedades Típicas del cemento refractario Concrax 1300	70
Tabla 11-4:	Resultado de la medición de emisiones atmosféricas	71

Tabla 12-4: Resultados del porcentaje de reducción de materia a cenizas	72
Tabla 13-4: Costos de Recursos Humanos	72
Tabla 14-4: Costos de Recursos Materiales	73
Tabla 15-4: Otros Costos	74
Tabla 16-4: Costos Totales de Construcción	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Elementos Básicos de un Horno.	8
Figura 2-2: Clasificación de Hornos	9
Figura 3-2: Horno diseñado para recuperar energía de residuos contaminado por metanol....	12
Figura 1-3: Ubicación del equipo	30

INDICE DE ANEXOS

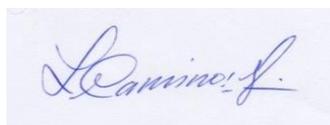
- ANEXO A.** DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA Y TIEMPO DE CREMACIÓN.
- ANEXO B.** CÓDIGO EN MATLAB DE BALANCE ESTEQUIOMÉTRICO
- ANEXO C.** TEMPERATURA ADIABÁTICA DE FLAMA. M1
- ANEXO D.** TEMPERATURA ADIABÁTICA DE FLAMA. M2
- ANEXO E.** CÓDIGO EN MATLAB. BALANCE DE MASA
- ANEXO F.** CÓDIGO EN MATLAB PARA EL BALANCE DE ENERGÍA
- ANEXO G.** CÓDIGO EN MATLAB. DIMENSIONES GEOMÉTRICAS. Cámara Principal
- ANEXO H.** CÓDIGO EN MATLAB. DIMENSIONES. Cemento Refractario
- ANEXO I.** CÓDIGO EN MATLAB. TRANSFERENCIA DE CALOR
- ANEXO J.** CÓDIGO EN MATLAB. REQUISITOS GENERALES DE EJECUCIÓN
- ANEXO K.** CÓDIGO EN MATLAB. VENTANA DE EJECUCIÓN. REDISEÑO
- ANEXO L.** CÓDIGO EN MATLAB. VENTANA GENERAL DE EJECUCIÓN.
- ANEXO M.** PLANO DEL EQUIPO. VISTA FRONTAL
- ANEXO N.** PLANO EQUIPO. CORTE VISTA FRONTAL
- ANEXO O.** PLANO DEL EQUIPO. VISTA SUPERIOR
- ANEXO P.** PLANO DEL EQUIPO. VISTA LATERAL
- ANEXO Q.** PLANO EQUIPO, VISTA FRONTAL PUERTA
- ANEXO R.** PLANO EQUIPO. CHIMENEA
- ANEXO S.** PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO
- ANEXO T.** LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES AL AIRE
- ANEXO U.** VALORES DE CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES COMUNES
- ANEXO V.** LÍMITES PERMISIBLES PARA EMISIONES DESDE INCINERADORES

RESUMEN

El presente estudio ha tenido como finalidad diseñar y construir un equipo de incineración de residuos biológicos generados en el Bioterio de la Facultad de Ciencias para solventar la necesidad de la disposición final de este tipo de residuos, de manera que se reducirá el volumen de materia y será una forma más amigable de contacto con el medio ambiente al evitar importantes focos de contaminación. Para el dimensionamiento, se calculó el calor mínimo necesario para la incineración mediante el contacto de llama directa estableciendo parámetros de temperatura y tiempo requeridos en el proceso. Posteriormente, mediante el uso del programa Matlab se analizaron las opciones óptimas de espesor de aislantes en cuestión a la estructura del equipo basado en un análisis de transferencia de calor en materiales y se construyó un equipo en concreto refractario de tipo CONCRAX 1300 que forma paredes de espesor de 10 cm y una cubierta de acero naval de 4 mm, además el equipo posee un quemador a diésel con una tasa de consumo de 0,5 a 3 GPH, una chimenea de 2,46 m de altura y 15 cm de diámetro para la evacuación de los gases de combustión y una termocupla de tipo J para el control de temperatura y su respectivo panel. Cumplido el proceso de incineración, se consiguió una reducción de la cantidad de residuos biológicos entre el 85 y 90 % en masa y la medida de los gases de combustión se sujetaron a los límites permisibles por la ley ambiental. Para conseguir mejor efectividad del proceso, es recomendable el precalentamiento del horno por 5 minutos previo a la operación principal.

PALABRAS CLAVE

<INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA> <DISEÑO DE HORNO INCINERADOR>
<CONSTRUCCIÓN DE CREMATORIO> <INCINERACIÓN DE ANIMALES DE
EXPERIMENTACIÓN> <RESIDUOS BIOLÓGICOS>



18-06-2020

0070-DBRAI-UPT-2020

ABSTRACT

The purpose of this study is to design and build a team for the incineration of biological waste generated in the Bioterio of the Faculty of Sciences to solve the need for the final disposal of this type of waste, so that the volume of material will be reduced and It will be a more friendly way of contacting the environment by avoiding major sources of contamination. For sizing, the minimum heat required for incineration was calculated using direct flame contact, establishing temperature and time parameters required in the process. Subsequently, by using the Matlab program, the optimal insulation thickness options in question for the equipment structure based on a heat transfer analysis in materials were analyzed, and a CONCRAX 1300 type refractory concrete equipment was created that forms thickness of 10 cm and a 4 mm naval steel cover, in addition the equipment has a diesel burner with a consumption rate of 0.5 to 3 GPH, a chimney of 2.46 m in height and 15 cm in diameter for the evacuation of the combustion gases and a J type thermocouple for temperature control and its respective panel. Once the incineration process was completed, a reduction in the amount of biological waste between 85 and 90% by mass was achieved and the measurement of the combustion gases were subject to the limits permitted by environmental law. To achieve better effectiveness of the process, it is recommended to preheat the oven for 5 minutes prior to the main operation.

KEYWORDS

<CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY> <INCINERATING OVEN
DESIGN> <CREMATORY CONSTRUCTION> <INCINERATION OF
EXPERIMENTAL ANIMALS> <BIOLOGICAL WASTE>

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se generan una gran cantidad de residuos, los cuales provienen de las diversas áreas de la institución, como los laboratorios, los mismo que son vertidos sin darles ningún tratamiento previo, lo que causa un alto nivel de contaminación, debido a las características del residuo. Dentro la generación de residuos se encuentran las ratas del Bioterio, las cuales son objeto de experimentación por parte de los estudiantes de la Facultad de Ciencias.

Las ratas y ratones del Bioterio son utilizadas principalmente para probar diferentes de sustancias, para verificar su comportamiento en el organismo del roedor, con lo que se puede desarrollar nuevos productos. Adicional, en las ratas no solo se prueban sustancias químicas si no también microorganismos, que producen cambios en la fisiología del roedor.

En la institución no hay una ningún procedimiento adecuado para tratar este tipo de residuo peligroso, ni tampoco se envía a un gestor para su correcta disposición, la única manera que se procese a tratar es enterrando, generando focos de contaminación, lo cual no está permitido, basándonos en los requerimientos de la autoridad ambiental, por tal razón se ha visto en la necesidad de diseñar y construir un equipo de cremación que permita la eliminación de este tipo de residuo de manera más amigable con el ambiente, cumpliendo de esta manera la normativa vigente.

1.2. Justificación

La generación de residuos peligrosos en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo es una problemática muy importante que considerar, debido a que no se le da un tratamiento adecuado, ni tampoco se envía a un gestor para su disposición final.

Conociendo que no exista una vía de gestión apropiada para este tipo de residuos en la ESPOCH, y sobre todo la importancia que tiene nivel del ambiente, se ha propuesto el diseño y construcción de un equipo de cremación para la incineración de los residuos biológicos, basándose en los requerimientos que exige la normativa en cuanto a emisión de gases al ambiente y disposición de los residuos biológicos.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

- Realizar el diseño y construcción de un equipo cremación para la incineración de residuos biológicos generados en el Bioterio de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

1.3.2. Específicos

- Determinar los parámetros de diseño para la construcción del equipo de cremación.
- Realizar los diseños de ingeniería acorde a las especificaciones requeridas para el proceso.
- Validar el equipo de cremado comparando los datos de cenizas y los gases de emisión obtenidos, con las exigencias de la normativa vigente.

CAPÍTULO II.

2. REVISIÓN DE LITERATURA O FUNDAMENTOS TEORICOS

2.1. Incineración

2.1.1. *Definición y finalidad*

Proceso térmico en el cual se someten materiales sólidos y líquidos, sean residuales o no, a un régimen de temperaturas medias (850 – 1200 °C), que por efecto de las reacciones de oxidación exotérmica de los propios residuos y, si es preciso, de combustible aportado, en presencia de exceso de oxígeno suficiente para que: casi toda (99,99 %) la fracción orgánica presente pase a la forma gaseosa, los combustibles oxidables a esa temperatura se hayan combinado con el oxígeno, y la fracción inorgánica se haya reducido a escorias y cenizas. (Castells 2005, p. 288)

El proceso de incineración tiene como finalidad la conversión de los residuos heterogéneos en residuos prácticamente inertes, lo que involucra la reducción de su peso y volumen, además de la destrucción de sustancias potencialmente nocivas, de manera que se tienda a la mínima contaminación posible. (Gobierno de España 2012, p. III)

2.1.2. *Incineración de Residuos*

Al ser un tipo de tratamiento para los diferentes residuos generados, forma parte de las variadas tecnologías de gestión integral de residuos, así puede aplicarse a los desechos en su totalidad o a una fracción de ellos, que ha sido precedida por un proceso de separación y reciclaje, además para aquellos que requieren minimizar el factor de peligrosidad previo a experimentar una disposición final. (Salvador 2010, p. 175)

Una porción orgánica de la muestra reacciona con el comburente, oxígeno del aire y al provocar una reacción de combustión completa se transforma en dióxido de carbono y agua, productos gaseosos. Como residuo sólido del proceso, persiste materia incombustible, cuya masa y volumen es inferior y resulta con una composición muy diferente a la de la muestra original. Consecuentemente, en la corriente de los productos aparecen compuestos contaminantes, debido a arrastres de sólidos, oxidaciones no completas y subproductos formados por reacciones del oxígeno con compuestos no hidrocarbonados, estas sustancias contaminantes o potencialmente nocivas deben ajustarse a límites permisibles para su emisión hacia el ambiente.(Salvador 2010, p. 175)

2.1.2.1. Clasificación de Residuos

Con la finalidad de efectuar una correcta eliminación de residuos generados en diferentes fuentes, es necesario establecer un sistema de gestión de residuos eficiente que incluya el manejo, transporte, disposición final y fiscalización de los mismos, de tal manera que el tipo de residuo determina la atención para la gestión o tratamiento de residuos. Teniendo en cuenta diferentes criterios, los residuos pueden ser clasificados en función de: su estado, origen o fuente, tipo de tratamiento al cual serán sometidos y efectos potenciales derivados del manejo.(Martínez, Javier 2005, p. 16)

Según el estado:

- Sólidos
- Semisólidos
- Líquidos
- Gaseosos

Según su origen:

- Domiciliarios, urbanos
- Industriales
- Agrícolas, ganaderos y forestales
- Mineros
- Hospitalarios

- De construcción
- Portuarios
- Radiactivos

Según el tipo de tratamiento al que serán sometidos:

- Residuos asimilables a urbanos
- Incinerables
- Residuos que se deben disponer en rellenos de seguridad
- Residuos generados masivamente
- Residuos pasibles de valorización

Según los efectos potenciales derivados del manejo:

- Residuos peligrosos, aquellos que intrínsecamente reúnen las características de tóxico, corrosivo, reactivo, inflamable, explosivo, infeccioso, eco tóxico, que pueden causar daño a la salud o el ambiente. Entre ellos destacan los residuos infecciosos o de riesgo biológico que son aquellos que contienen gérmenes patógenos. En la siguiente tabla, se describe a detalle la sub clasificación de este tipo de residuos.

Tabla 1-2. Clasificación de residuos peligrosos

Bio sanitarios	Engloban todos los elementos e instrumentos utilizados en la realización de procedimientos asistenciales en tecnología médica que tienen contacto con materia orgánica, sangre o fluidos corporales tales como: grasas, apósitos, algodones, vendaje, etc.
Anatomo – Patológicos	Provenientes de áreas de internación, emergencia, terapia intensiva, quirófanos, salas de parto, de autopsia, morgue. Residuos que incluyen: biopsias, placentas, tejidos, órganos amputados, partes y fluidos corporales.
Punzocortantes	Todos los objetos cortantes o punzantes utilizados en práctica de salud, incluyen: agujas, bisturís, lancetas, jeringas, mangueras, pipetas, etc.
Desechos de Sangre	Sangre de pacientes, suero, plasma u otros componentes; insumos para administrar sangre, tomar muestras y paquetes de sangre que no han sido utilizadas.
Residuos de aislamiento	Provenientes de la sala de aislamiento de pacientes que padecen enfermedades altamente transmisibles, excreciones, exudados y residuos biológicos.
Desechos de Investigación	Cadáveres o partes de animales contaminadas o expuestas a agentes infecciosos en laboratorios de experimentación, industrias de productos biológicos y farmacéuticos.

Fuente:(Yusdel Díaz 2018a, p. 14)

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

- Residuos peligrosos no reactivos, aquellos que han perdido su naturaleza de peligroso al ser sometidos previamente a un tratamiento.
- Residuos inertes, aquellos que no experimentan transformaciones significativas de carácter físico, químico o biológico.

- Residuos no peligrosos, aquellos que no encajan en ninguna de la clasificación anterior, algunos ejemplos registran, residuos domésticos, residuos de poda y barrido.(Martínez, Javier 2005, p. 17)

2.2. Hornos

La combustión y los hornos son el corazón de nuestra sociedad. Los hornos se utilizan para producir prácticamente todo lo que usamos como alimentos y bebidas, ya sea directamente como los productos metálicos utilizados en la vida cotidiana, el embalaje de nuestra comida y bebida o indirectamente como las herramientas que se utilizan para cultivar esos alimentos. Incluso un producto natural como la madera, requiere secado para que sea idóneo para la mayoría de los usos, llevándose a cabo el proceso en un horno de secado.(Mullinger y Jenkins 2008, p. 2)

Desde los primeros días de la existencia de la humanidad, los alimentos fueron cocinados sobre fuego abierto, así como pedazos de madera fueron carbonizados para hacerlos más duros. Sin embargo, el fuego abierto proporcionó poco control sobre el proceso de calentamiento. En el nacimiento de la edad de bronce, debido a la necesidad de fundir el metal se desarrolló un horno de tiro forzado para alcanzar la temperatura de proceso a base de carbón, sin embargo, la producción del metal fue baja debido a la escasez de un combustible adecuado y los altos costos de producción. Posteriormente Abraham Darby reemplazó el carbón por el coque logrando reducir los costos de producción y facilitando la construcción de los primeros puentes de metal en 1779. Desde aquí se establecen las bases para la revolución industrial que continúan hasta la actualidad porque la producción de metales no estaba limitada por el suministro de combustible.(Mullinger y Jenkins 2008, p. 3)

La gran parte de los materiales que se emplean, y los alimentos y bebidas que consumimos, han sido sometidos al calor en algún instante del proceso de producción. Los procesos de combustión pueden ser convenientemente procesos de alta y baja temperatura. Los procesos con temperatura de pared inferior a 400-500 °C son generalmente considerados de baja temperatura, mientras que aquellos por encima de 500-800 °C son generalmente considerados de alta temperatura. Los procesos de alta temperatura incluyen la fabricación de cemento y cal, ladrillo y cerámica, fabricación de vidrio, etc., mientras que los procesos de baja temperatura incluyen procesos de secado, procesamiento de alimentos y esterilización, vapor, refinado de aceite, etc. (Mullinger y Jenkins 2008, p. 3)

Es difícil garantizar el uso eficiente de la energía del combustible en procesos de alta temperatura que sus homólogos de baja temperatura. Para procesos de baja temperatura, como la generación de vapor, se suelen obtener eficiencias superiores al 80%, mientras que, para proceso de alta temperatura, las eficiencias superiores al 50% son raras.(Mullinger y Jenkins 2008, p. 3)

2.2.1. Definición

Un horno de alta temperatura es como una estructura cerrada por un intenso calentamiento por fuego, p. ej., los hornos de metales o de agua, mientras que un horno de baja temperatura se describe como un horno para quemar, hornear y secar, p. ej., para calcinar cal o cocinar cerámica. En realidad, hay una pequeña diferencia entre los dos, ya que ambos operan en un similar rango de temperatura. (Mullinger y Jenkins 2008, p. 4)

Los hornos pueden utilizarse para facilitar una amplia gama de reacciones químicas o, en algunos casos, para realizar simplemente procesos físicos, como el recocido o el secado. Uno de los retos del diseño del horno consiste en determinar la velocidad crítica que siguen las fases y garantizar que éstas se absorban eficazmente. De este modo, se pueden desarrollar hornos más pequeños, más eficientes (Mullinger y Jenkins 2008, p. 4).

2.2.2. Esquema de un Horno

El concepto básico de un horno se muestra en la siguiente figura:

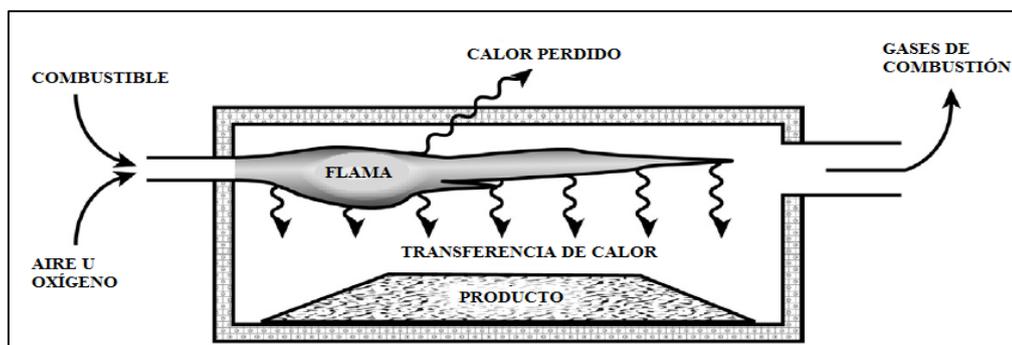


Figura 1-1. Elementos Básicos de un Horno.

Fuente: (Mullinger y Jenkins 2008)

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

El calor liberado se da por la quema de un combustible con aire u oxígeno, o de energía eléctrica, y una parte de ese calor se transfiere al producto. El calor restante va con los gases de combustión, por la puerta de carga y por las paredes del horno.

2.2.3. Clasificación

Hay un número casi infinito de clasificar los hornos, por la forma, industria, producto, etc., pero una clasificación muy simple basada en los conceptos de transferencia de calor del tipo de fuente de calor y el tipo de disipador de calor se muestra en la Figura 2-2. Este sistema de clasificación es muy simplificado, pero útil porque la naturaleza del producto, el tipo de combustible y el mecanismo de transferencia de calor tienen una influencia importante en la disposición física del horno. Cabe recalcar que muchos de los hornos tienen múltiples sumideros de calor y utilizan varios tipos de combustibles, ya sea simultánea o alternativamente, lo que también afecta al diseño del horno. En la Tabla 1-2. Se presentan ejemplos de hornos que corresponden a la clasificación indicada en la Figura 2-2:

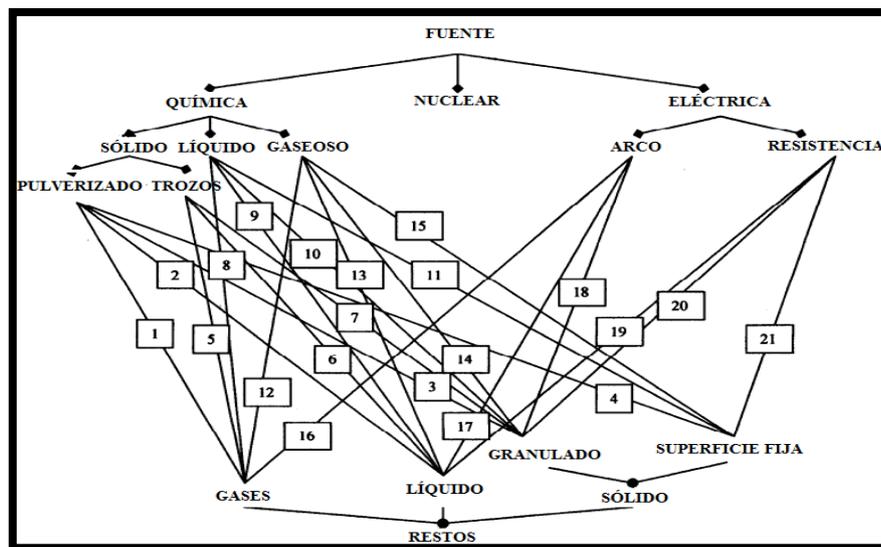


Figura 2-2. Clasificación de Hornos

Fuente: (Mullinger y Jenkins 2008)

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

Tabla 2-2. Ejemplos de hornos que cumplen la clasificación especificada en el diagrama.

Número de clasificación	Ejemplos de Tipos de Hornos
1	Caldera de Tubo de Agua
2	Calentador de Agua o fluido Térmico
3	Hornos Rotatorios, Hogares Móviles o Giratorios
4	Hornos de Chimenea Abierto
5	Rejilla Fija o Móvil con Tubos de Vapor
6	Calentador de Cabina
7	Lecho Fluidizado, Horno Multi-Hogar
8	Horno de Craqueo de Refinería
9	Calentador de Tubos, Caldera de Tubo de Fuego
10	Horno Rotatorio, Cama Fluidizada, Horno de calentamiento Flash
11	Horno de Fogón Abierto, Horno de recalentamiento de metales.
12	Horno de Craqueo de Refinería, Horno de Reformado, Calentador de Aire
13	Caldera de Tubo de Fuego, Horno de Recalentamiento de metal de Tubo fijo
14	Horno Rotatorio, Cama fluidizada, Horno de Calentamiento de destello
15	Horno de chimenea abierta, Tanque de vidrio
16	Horno de plasma
17	Horno de arco de metal fundido
18	Arco de fusión de metal y Hornos de inducción
19	Calentadores de inmersión de metal fundido
20	Horno Mufla
21	Calentador por Lotes, Horno de Recocido

Fuente: Mullinger y Jenkins 2008

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

2.2.4. *Objetivos de Diseño*

- Obtener un producto satisfactorio.
- Utilizar combustible y energía al mínimo para lograr ese producto.
- Construir el horno con un coste de capital más bajo.
- Operar con los niveles de dotación más bajos posibles.
- Lograr un tiempo de vida útil con los costos más bajos para en mantenimiento.

El primer objetivo prevalece sobre todos los demás, porque si un producto no es satisfactorio, no se puede vender o se debe vender a un precio inferior. El Arte de diseño de un horno consiste en lograr la mejor combinación de estos objetivos a lo largo de la vida del horno, en otras palabras, para producir un producto de alta calidad el menor costo posible. (Mullinger y Jenkins 2008, p. 5)

2.2.5. *Aplicaciones*

2.2.5.1. *Incineradores y hornos de recuperación*

Un significativo número de hornos son usados para destruir residuos tóxicos, para recuperar metales y para recupera energía de residuos combustibles. Esto no es nuevo, los hornos se han utilizado durante mucho tiempo para recuperar metales de la escoria, como el cobre, plomo y acero. Inglaterra tenía instalados más de 50 instalaciones para recuperar calor de basura doméstica. En el futuro, los hornos podrían ser usados para metales valiosos, por ejemplo, de escorias de equipos eléctricos. Estos últimos hornos serán un reto real en torno a su diseño, debido a la poca experiencia. (Mullinger y Jenkins 2008, p. 24)

Los incineradores tienen la finalidad de reducir la masa de residuos como los producidos en hospitales, domésticos, desechos que fueron sometidos a investigación, etc., mediante la oxidación de la materia orgánica, disminuyendo la contaminación, obteniendo del proceso cenizas, que se le puede dar una disposición final adecuada y segura, así como se puede recuperar energía. (Yusdel Díaz 2018b, p. 6)

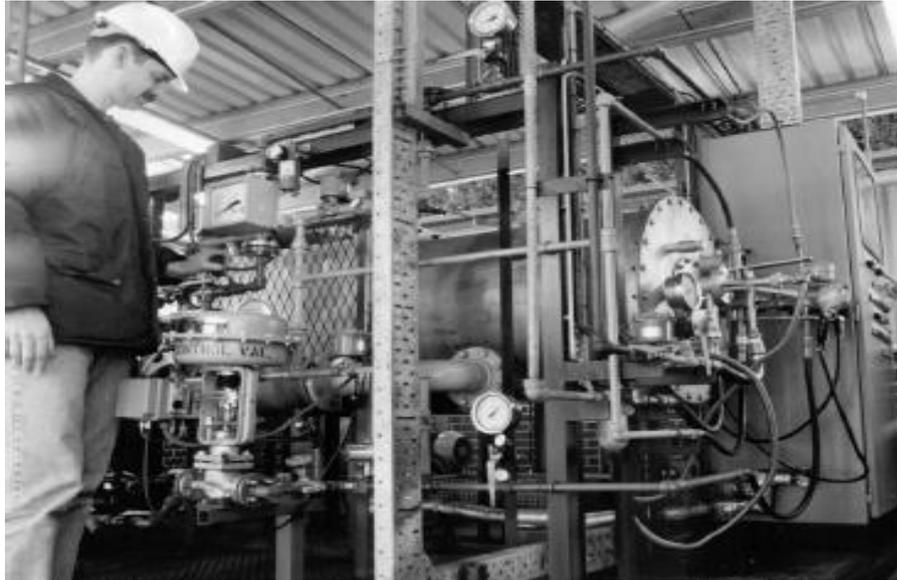


Figura 3-2. Horno para recuperar energía de residuos contaminado por metanol.

Fuente: (Mullinger y Jenkins 2008)

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

2.3. Proceso de Combustión

La combustión es el conjunto de procesos físico – químicos, durante la cual el combustible y oxígeno (comburente) se queman juntos a una temperatura suficientemente alta para producir energía lumínica y calorífica además de productos de combustión. La velocidad a la cual se efectúa este tipo de reacción puede variar desde una lenta descomposición hasta una explosión instantánea. (Mullinger y Jenkins 2014, p. 32)

Esta reacción se genera en tres fases:

- Pre-reacción, donde el combustible se descompone y da lugar a la formación de radicales inestables y muy activos.
- Oxidación, en esta etapa los radicales libres formados se combinan con el oxígeno del aire, liberando energía y propagando la llama.
- Terminación, etapa en la cual se forman ya compuestos estables finales o gases de combustión.

Es fundamental, para una efectiva combustión tanto el combustible como el comburente se encuentren en proporciones adecuadas, tanto en espacio y tiempo, además de existir una fuente de energía que inicie y mantenga el proceso. (Barrera P et al. 2018, p. 4)

La química de este proceso de oxidación involucra complejas reacciones en cadena. Sin embargo, para la mayoría de propósitos de diseño, es posible simplificar razonablemente en cuatro reacciones básicas, que se resumen a la oxidación completa e incompleta tanto del carbono como del hidrógeno. (Mullinger y Jenkins 2014, p. 32)

2.3.1. Combustión Completa

Es la referida a la oxidación total de los componentes que forman el combustible y a la liberación de toda la energía producida, para que esto se produzca es necesaria una adecuada mezcla de aire - combustible además de una temperatura de ignición para que el proceso se mantenga. (José 2001, p. 4)

Con la condición de que exista la suficiente cantidad de oxígeno en la mezcla, se genera el dióxido de carbono a partir del carbón, sin embargo este tipo de reacción raramente ocurre y es el resultado de una cadena de reacciones las cuales involucran al monóxido de carbono como producto intermedio. De la misma manera el hidrógeno forma agua, y otros componentes de los hidrocarburos se oxidan en su forma completa. No así, el nitrógeno contenido en el aire pues permanece como masa inerte, sin embargo a elevadas temperaturas de los humos puede dar lugar a la formación de óxidos de nitrógeno en mínimas proporciones. (Mullinger y Jenkins 2014, p. 32)

2.3.2. Combustión Incompleta

Es aquella en la cual no todos los constituyentes del combustible se oxidan completamente, razón por la cual aparecen los inquemados. Es decir, no todo el carbón será oxidado a dióxido de carbono, parcialmente será oxidado a monóxido de carbono, el principal efecto de su producción es la reducción de calor liberado o cedido por el combustible como resultado de un desbalance estequiométrico o una pobre relación de la mezcla de aire – combustible, lo que significará una caída de la eficiencia del proceso. (Mullinger y Jenkins 2014, p. 33)

Este tipo de combustión da como resultado monóxido de carbono y humos, lo que provoca un menor rendimiento de la operación. Adicionalmente, el monóxido de carbono al ser un importante contaminante atmosférico y una sustancia de riesgo para la salud, es esencial prevenir los niveles de su producción y emisión hacia el medio ambiente.

2.3.3. Aire Teórico o Estequiométrico

Se refiere a la cantidad mínima requerida para conseguir la combustión completa del combustible.(Cengel, Yunus A.; Boles, Michael A. 2012, p. 776)\

$$A_t = \frac{\text{cantidad de oxígeno}}{\% \text{ de oxígeno en aire por peso}} \quad \text{Ec. 1-2}$$

2.3.4. Aire en Exceso

Es la cantidad de aire superior a la mínima requerida para lograr una combustión completa, generalmente es necesario proveer al proceso una proporción de aire en exceso.(Mullinger y Jenkins 2014, p. 34)

$$\text{exceso de aire} = \frac{(\text{Total Aire} - A_t)}{A_t} \times 100 \quad \text{Ec. 2-1}$$

2.3.4.1. Importancia

La cantidad de aire excedente que ingresa al proceso de combustión, garantiza un quemado correcto y completo además que mantiene la temperatura requerida en la cámara de combustión, lo que minimiza la formación de humo, depósitos de hollín y se logra un mejor rendimiento del desprendimiento de calor (Restrepo, Alvaro H; Tibaquirá, Juan Esteban; Carranza, Yamid A 2004, p. 157)

2.3.5. Aire Seco

Es aquel aire que está libre de humedad, es decir tiene un contenido nulo de agua en su composición y se rige a un comportamiento de gas ideal. (Yarke 2005, p. 32)

2.3.6. Aire Húmedo

Se denomina como aire húmedo a la mezcla de aire seco y vapor de agua, cantidad que es variable en función a la temperatura, el vapor de agua se condensa y pasa a denominarse como aire saturado, este proceso de saturación es dependiente de la temperatura del aire y de la tensión de vapor del agua. (Yarke 2005, p. 32)

2.3.6.1. Ley de Raoult

Como precedente, es necesario definir la presión de vapor, como la fuerza o presión ejercida por un vapor puro sobre la fase líquida cuando ambas fases se encuentran en equilibrio dinámico. Por tanto la Ley de Raoult, es la encargada del cálculo de la presión de vapor de una sustancia cuando forma parte de una mezcla ideal, y relaciona proporcionalmente la presión de vapor del componente puro y su fracción molar, y está definida por la expresión siguiente: (Henry y Heinke 1999, p. 175)

$$P = P_A^o X_A \quad \text{Ec. 3-2}$$

2.3.7. Relación del Aire Combustible

En la mayoría de sistemas de combustión la masa de aire requerida para conseguir una combustión completa es al menos diez veces mayor que la cantidad de combustible. De hecho, la mezcla de

aire combustible influye en la estabilidad de la llama, las emisiones y el perfil de liberación térmica.(Mullinger y Jenkins 2014, p. 48)

Esta relación se rige al siguiente cálculo:

$$AC = \frac{\text{masa de aire}}{\text{masa de combustible}} \quad \text{Ec. 4-2}$$

Es esencialmente importante una mezcla de combustible y oxígeno, de manera que se dé lugar a la presencia de una mezcla uniforme justo en la zona de combustión de manera que cada partícula de combustible esté rodeada de suficiente aire para ayudar a la combustión. Para conseguir el propósito de una mezcla íntima entre el oxígeno con los gases y partículas del combustible que se esté quemando, es necesario que la llama actúe generando turbulencia.

2.3.8. Física de la Combustión

Ninguna de las reacciones químicas puede tomar lugar hasta que el oxígeno en el aire establezca contacto con el gas. Por lo tanto, todos los procesos de combustión tienen lugar en las siguientes etapas:

Mezcla → Ignición → Reacción Química → Dispersión de Productos

La velocidad de la combustión es independiente de la etapa más lenta, por lo tanto ésta y la plenitud de la combustión es controlada por la mezcla de aire y combustible. Por lo expuesto, una relación insuficiente provoca gases inquemados además que gasta potencialmente la energía del combustible.(Mullinger y Jenkins 2014, p. 47)

2.3.8.1. Rol Aire Primario

Es aquel definido como un porcentaje del requerimiento del aire estequiométrico, en otras palabras es aquel aire que conduce el combustible a los quemadores, éste es premezclado o experimenta una mezcla muy rápida con el combustible en la boquilla del quemador, y flujo del aire restante debe envolver la trayectoria que sigue el aire primario y el chorro de combustible. Cuanto mayor sea el caudal del aire primario, más rápida es la mezcla de aire combustible. Es evidente, que cumple dos funciones de gran importancia, la primera es controlar la velocidad de mezclado de aire – combustible, de manera que ayuda a la combustión del combustible y la segunda es ayudar a mantener la estabilidad de la llama. (Mullinger y Jenkins 2014, p. 50)

2.3.8.2. Rol Aire Secundario

El aire secundario es aquel que se suministra para quemar el combustible de forma que el oxígeno pueda unirse en combustión en los puntos más estratégicos, esto significa que su función es completar la combustión en el hogar. El flujo de este aire secundario a menudo está determinado por requisitos mecánicos y de proceso, así como por consideraciones aerodinámicas, sin embargo se considera que debe ser distribuido uniformemente alrededor del chorro por el cual se dispersa el combustible.

Evidentemente, la relación entre el impulso del chorro de combustible y la velocidad que se induce al aire secundario tiene un efecto significativo en la longitud de la llama y por consiguiente en la transferencia de calor. Por ejemplo, los hornos con muy bajo impulso del chorro de combustible sufren de una mezcla pobre de aire – combustible lo que conduce a un incremento del consumo de combustible. (Mullinger y Jenkins 2014, p. 65)

2.4. Combustibles

Generalmente, los combustibles en su forma natural o elaborada son compuestos de cadenas hidrocarbonadas sencillas o en combinación con otros átomos, que liberan calor cuando se oxidan por combustión controlada y entregan al proceso energía significativa y aprovechable para varios procesos. También se incluyen algunos compuestos no hidrocarbonados como el hidrogeno,

etanol, metanol y otros denominados biocombustibles. Es conveniente clasificarlos según su estado físico, en lo siguiente: (Mullinger y Jenkins 2014, p. 68)

2.4.1. Sólidos

Son aquellos que se encuentran en estado de agregación compacto, y al oxidarse de forma violenta generan cenizas, humos y desprenden calor, su combustión depende de agentes como el contenido de humedad, cantidad de materia volátil, velocidad de propagación, forma, etc. Entre los más destacados se encuentran: carbón vegetal, coque, antracita, lignito, turba y madera, subproducto de algún proceso. (De Souza Santos, Mauricio 2004, p. 18)

El poder calorífico afecta a la cantidad de combustible requerido, mientras más bajo el valor de poder calorífico más alto es el gasto de para encender el horno y más bajo será el valor de la temperatura de flama producida. Además las bajas temperaturas podrían reducir la transferencia de calor. (Mullinger y Jenkins 2014, p. 78)

2.4.2. Líquidos

La mayoría de estos combustibles son derivados del petróleo, obtenidos a partir de la refinación del crudo, su propiedad característica es el punto de inflamación, en el cual se producen vapores que al contacto con una fuente de ignición provoca su encendido. Son clasificados en combustibles destilados tales como el keroseno, diésel, gasolina y como residuales mismos que se encuentran en un amplio rango de viscosidad, por su naturaleza éstos deben ser precalentados para hacerlos bombeables y para reducir la viscosidad para permitir la atomización. (Mullinger y Jenkins 2014, p. 75)

2.4.2.1. Gasóleo o Diesel

Es un hidrocarburo derivado del petróleo que se obtiene a partir de la destilación del crudo en un rango de temperaturas entre 200° C y 380°C, y está principalmente compuesto por una mezcla de hidrocarburos, en un aproximado de 75% lo constituyen los hidrocarburos saturados entre los

cuales incluyen parafinas, en sus isómeros alifáticos y cíclicos, mientras que el 25% restante pertenecen a hidrocarburos aromáticos como naftalenos y alcanos bencenos. El diésel obedece a la fórmula química general del gasóleo común $C_{12}H_{26}$, sin embargo están en él inmersas pequeñas fracciones de otros hidrocarburos en el rango $C_{10}H_{22}$ y $C_{15}H_{32}$. Las características físicas como la densidad y el índice de cetano confieren una aproximación respecto de la calidad del combustible. Por tanto, en virtud a su elevado poder energético, el diésel es capaz de suministrar energía suficiente para poner en marcha grandes maquinarias, por ello su uso en la mayoría de sectores desde la industria hasta el transporte. (Yusdel Díaz 2018, p. 13)

2.4.3. Gaseosos

Son aquellos formados por moléculas dispersas de compuestos hidrocarbonados, pueden ser naturales o elaborados, de éstos últimos generalmente desde el petróleo, carbón o biomasa. Ambos varían ampliamente en su composición química y sus propiedades físicas. La composición de los combustibles gaseosos depende fundamentalmente de su composición en el reservorio y del grado de tratamiento al cual se someta, típicamente contienen un alto número de hidrocarburos así como también compuestos inorgánicos como CO_2 , N_2 , H_2S , etc. Como ejemplos están, el gas natural, gas licuado de petróleo (GLP), gases de aceite, gases de agua, gases de hornos de fundición, acetileno e hidrógeno. (Mullinger y Jenkins 2014, p. 69)

2.4.3.1. Gas Licuado de Petróleo (GLP)

El GLP es una combinación básicamente de propano y butano en proporciones aproximadas a 60% y 40% respectivamente, acompañado de trazas de otros compuestos. En condiciones normales de temperatura, se encuentra en estado gaseoso mientras que al someterlo a presiones moderadamente altas o a su vez a enfriamiento pasa al estado líquido. El GLP es un combustible eficiente y sostenible ya que proporciona una combustión completa y limpia, en efecto significa una fuente de energía primordial y denominada polivalente, por su disponibilidad, facilidad de transporte, almacenamiento y beneficios ambientales que otorga, pues produce menor cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero que otros combustibles como la gasolina y gasóleo. En consecuencia, al ser una excepcional fuente de energía es ampliamente utilizado en el sector

terciario y en la industria, transporte, agricultura, para la generación de energía como combustible de calefacción. (WLPGA 2017, p. 3)

2.4.4. Elección del Combustible

En el diseño de un horno es una decisión crítica respecto a la elección del combustible, porque es raramente dada la consideración que merece y significa uno de los más altos costos para la operación del horno. Con frecuencia el combustible es seleccionado simplemente por su disponibilidad en el sitio. Sin embargo, merece la pena tomar consideraciones detalladas para la elegir el combustible más idóneo, puesto que éste afecta significativamente el funcionamiento del horno y su eficiencia además de los costos de mantenimiento del mismo. (Mullinger y Jenkins 2014, p. 68)

Los factores que afectan el costo del combustible son: su abundancia o escasez, facilidad de obtención y de uso, políticas legales y tributarias, y mecanismo de transportación.

Las propiedades que influyen al momento de decidir sobre la utilización de un combustible, incluyen:

- Disponibilidad y costo
- Valor Calorífico
- Límites de Inflamabilidad
- Densidad, especialmente en combustibles líquidos y gaseosos.
- Emisividad de la flama producida
- Composición química y los productos obtenidos del proceso de combustión.
- Contenido de cenizas y su composición, principalmente para combustibles sólidos.
- Efecto de los productos de combustión sobre el producto.

2.5. Fundamentos para Balance Energía en Procesos Reactivos

2.5.1. Calor

Es la energía que fluye como resultado de una reacción química de la diferencia de temperatura entre un sistema y sus alrededores, así el flujo de calor es un proceso mediante el cual se cambia la energía interna de un sistema. (Kreith, Bohn y Manglik 2012, p. 3)

2.5.2. Capacidad Calorífica

Es la cantidad de calor expresado en unidades térmicas requeridas para incrementar en un grado la temperatura de una sustancia. Todos los calores específicos varían en función de temperatura y es una función continua de la temperatura en la región entre las transiciones de fase, este tipo de energía puede ser suministrada por transferencia de calor en diversos procesos. Sus unidades obedecen a energía por diferencia de temperatura por masa o moles. Puesto que todas las sustancias varían en volumen o presión con cambios en la temperatura, es necesario distinguir entre el calor específico a volumen constante y presión constante, denotado por C_v y C_p , respectivamente. Tanto los líquidos como los sólidos experimentan solamente pequeños cambios de volumen sobre un cambio de un grado de temperatura, entonces C_v y C_p , pueden ser tomados iguales para la mayoría de propósitos. Al contrario para gases, el valor a presión constante es más alto que el valor a volumen constante, debido a que el trabajo hecho sobre los alrededores durante el proceso de expansión calienta el gas. (Davies 1970, p. 7)

La mayoría de ecuaciones para la capacidad calorífica de sólidos, líquidos y gases son empíricas, por lo que se expresa a presión constante en función de la temperatura mediante potencias y constantes tabuladas rigiéndose a la siguiente expresión: (Himmelblau, David M. 1997, p. 410):

$$C_p = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad \text{Ec. 5-2}$$

2.5.3. *Calor Sensible*

Es aquel que indica la necesidad de transferir calor para aumentar o reducir la temperatura de una sustancia o mezcla de sustancias, sin afectar su estructura molecular ni su estado. Este término es dado para el contenido de calor de los combustibles y sus productos de combustión por encima de un nivel de referencia específico. El calor sensible es calor que puede ser sentido, lo que significa que, si el calor es aplicado al sistema entonces este es inmediatamente sentido por un incremento en la temperatura, o si el calor es removido este es sentido por una caída en la temperatura. (Davies 1970, p. 8)

2.5.4. *Calor Latente*

Cuando un material experimenta un cambio de estado a presión constante, el calor es o bien absorbido o desprendido, y durante este cambio la temperatura del sistema permanece constante. Este calor no puede ser sentido. Así, es el cambio específico de entalpía asociado con la transición de una sustancia de una fase a otra a temperatura y presión constantes, lo que significa que es la energía requerida por una cantidad de sustancia para experimentar el cambio de fase. (Davies 1970, p. 9)

2.5.4.1. *Calor de Fusión*

Se denomina como la diferencia de la entalpía específica entre la fase sólida y líquida de una sustancia o especie a una temperatura y presión determinadas. (Felder, Richard M. y Rousseau, Ronald W. 2004, p. 378)

2.5.4.2. Calor de Vaporización

Se denomina como la diferencia de la entalpia especifica entre la fase liquida y de vapor de una sustancia o especie a una temperatura y presión determinadas.(Felder, Richard M. y Rousseau, Ronald W. 2004, p. 378)

2.5.5. Reacciones de Formación y Calores de Formación

2.5.5.1. Calor de Formación

Se denomina al cambio de entalpia asociado con la formación de un mol del compuesto a partir de sus constituyentes elementales en la forma en que se encuentran en la naturaleza, a temperatura y presión de referencia, 25 °C y 1 atm, los valores de este calor está fijado en tablas.(Felder, Richard M. y Rousseau, Ronald W. 2004, p. 448)

2.5.5.2. Calor de Combustión

Es el calor o la energía de la combustión que experimenta una sustancia con oxígeno para generar productos específicos, cuando tanto reactivos y productos están a 25 °C y 1 atm, este calor estándar viene establecido en tablas asumiendo consideraciones de un proceso de oxidación completa.(Felder, Richard M. y Rousseau, Ronald W. 2004, p. 449)

2.5.6. Entalpía de Reacción

Se denomina también calor de reacción, y significa el cambio de entalpia o energía a presión y temperatura constante, para un proceso en el cual las cantidades estequiométricas de los reactivos reaccionan en su totalidad en una única reacción para formar productos a las mismas condiciones. Si el valor del calor es negativo, se trata de una reacción exotérmica, es decir que ha desprendido o liberado energía hacia el medio, caso contrario si el valor es positivo, se afirma que la reacción

es endotérmica, lo que significa que ha absorbido calor del medio para efectuarse. Fundamentalmente, el valor del calor de reacción depende de la estequiometría de la reacción y de los estados de agregación tanto de reactivos como de productos. (Felder, Richard M. y Rousseau, Ronald W. 2004, p. 446)

2.5.7. *Temperatura Adiabática de Flama*

En combustión, al quemar un combustible se desprende una considerable cantidad de energía, una porción de esta se transfiere como calor a través de las paredes del reactor o cámara, y la otra porción se encarga de elevar la temperatura del o los productos, dicho en otras palabras, es la temperatura máxima alcanzada dentro del proceso cuando la reacción se realiza en condiciones adiabáticas donde no existe intercambio alguno de calor entre el sistema y el entorno, además cuando no existe otros efectos externos como de tipo eléctrico, trabajo, ionización, formación de radicales libres, etc. para lo que se supone una oxidación completa y que los productos se obtienen a la temperatura de la reacción. (Himmelblau, David M. 1997, p. 457)

2.6. Transferencia de Calor

Los diseños de hornos industriales generalmente requieren la resolución simultánea de transferencia de calor, masa y fenómenos de transferencia de momentum. Por lo tanto, esto nos permite hacer una predicción del funcionamiento de los quemadores, equipos de combustión y el ambiente de horno, el cual es extremadamente difícil de predecir. (Mullinger y Jenkins 2008, p. 210)

El objetivo primario de un horno es transferir energía térmica al producto, por lo tanto, antes de analizar o diseñar algún proceso de combustión, se debe entender los fundamentos de transferencia de calor. Entonces si hay diferentes temperaturas entre dos partes del sistema, el calor se transferirá mediante conducción, convección, radiación. (Mullinger y Jenkins 2008, p. 90)

Se puede escribir una ecuación general para la tasa de transferencia de calor entre dos partes de un sistema:

$$Q = \Phi(\Delta t)^n \quad \text{Ec. 6-2}$$

El origen de Φ y el valor n varía acorde al modelo de transferencia de calor:

Tabla 3-2: Modelo transferencia de calor

	Φ	N
Conducción	$\frac{kA}{\Delta x}$	1
Convección	hA	1
Radiación	$\sigma \epsilon A$	4

Fuente: Mullinger y Jenkins 2008

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I. 2020

2.6.1. Formas de transferencia

2.6.1.1. Conducción

En un sólido, el flujo de calor por conducción es el resultado de la transferencia vibratoria de energía de una molécula a la siguiente, y en un fluido esto ocurre adicionalmente como un resultado de la transferencia de energía cinética. La conducción puede también ser creado de los movimientos de electrones libre. (Mullinger y Jenkins 2008, p. 90)

Cuando consideramos conducción, se tiene la siguiente ecuación:

$$Q = -\frac{kA\Delta t}{x} \quad \text{Ec. 7-2}$$

Donde:

Q = Flujo de calor(W)

k = Coeficiente de Transferencia de Calor (W/m K)

A = Área (m²)

Δt = Diferencia de Temperaturas (K)

x =Espesor de pared (m) (Mullinger y Jenkins 2008, p. 91)

Esta es la clásica ecuación de Fourier, además esta ecuación se puede escribir, para paredes compuestas, quedando lo siguiente:

$$Q = \frac{\Delta t}{\sum_{n=1}^n \frac{x_n}{k_n A_n}} \quad \text{Ec. 2-10}$$

Donde:

Q = Flujo de calor (W)

k = Coeficiente de Transferencia de Calor (W/m K)

A = Área (m²)

Δt = Diferencia de Temperaturas (K)

x = Espesor de pared (m)

2.6.1.2. *Convección*

La transferencia de calor por convección es atribuible al movimiento macroscópico de un fluido y esto es por lo tanto limitado a líquidos y gases. La convección natural nace de las diferencias de densidades causado por el gradiente de temperatura en el sistema. La convección forzada ocurre debido a remolinos en un fluido de movimiento turbulento.

La transferencia de calor convectiva es en realidad la conducción de calor a través de un fluido que fluye a una superficie. La convección está representada por la siguiente ecuación:

$$Q = hA\Delta T \quad \text{Ec. 8-2}$$

Q = Flujo de calor (W)

h = Coeficiente de Transferencia de Calor ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}$)

A = Área (m^2)

Δt = Diferencia de Temperaturas (K)

La medida de este tipo de sistemas muestra el gradiente de temperatura en el fluido, y de ahí la resistencia térmica, ocurre en una pequeña capa cerca de la superficie, denominándose la capa límite.

Durante la transferencia de calor convectiva, algunas reacciones químicas ocurren en la interfase, y en esos casos la diferencia de entalpía es usada en lugar de la diferencia de temperaturas. (Mullinger y Jenkins 2008, p. 90)

2.6.1.3. Radiación

Son todos los materiales con energía térmica radiante en forma de ondas electromagnéticas. Cuando la radiación cae en una superficie, esta podría ser reflejada, transmitida o absorbida. La fracción de energía que es adsorbida se manifiesta como calor.

Cuando dos superficies sólidas están a diferentes temperaturas y estas separadas por un fluido en fase transparente, estos intercambiarán energía térmica por radiación. Que consiste en ondas electromagnéticas con iguales características a la luz visible con su misma intensidad y visibilidad, esto debido al espectro de longitud de onda. Por lo que esto se incrementa con la temperatura de la superficie radiante. (Mullinger y Jenkins 2014, p. 92)

CAPÍTULO III.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Localización del Proyecto

Este proyecto pretende ser implementado en:

Tabla 4-3: Localización del proyecto

UBICACIÓN	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias
LATITUD	01° 38' 51'' S
LONGITUD	78° 40' 59'' W
ALTITUD	2850 m. s. n. m.
CLIMA	Temperatura máxima: 25 °C
	Temperatura mínima: 910°C

Fuente:(Yusdel Díaz 2018a, p. 14)

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

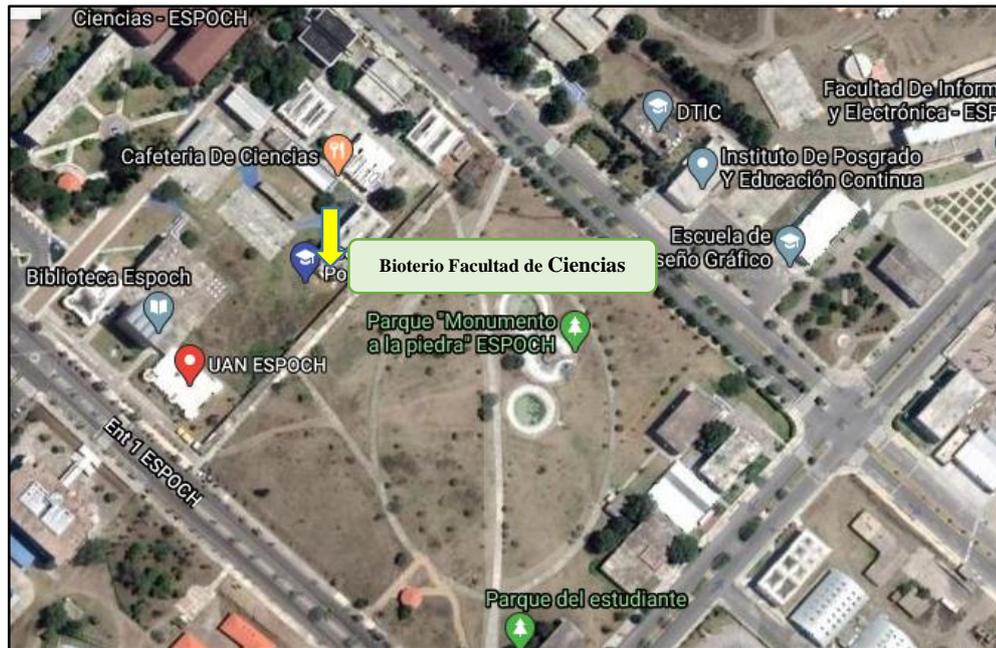


Figura 4-3. Ubicación del equipo

Fuente: GoogleMaps. 2019

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

3.2. Ingeniería del Proyecto

3.2.1. Tipos de Estudio

El presente estudio se remite a un trabajo técnico que propone una solución frente a la problemática del tratamiento y disposición final de los residuos biológicos generados en el Bioterio de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, el cual plantea un sistema de tratamiento para la minimización y gestión de los desechos mediante un equipo en el cual se realice el proceso de incineración. Caracterizando el proyecto desde la revisión bibliográfica, aplicación de cálculos ingenieriles para su diseño hasta la construcción de un horno incinerador, que busca cumplir la necesidad de disposición de los desechos rigiéndose a los parámetros impuestos por la normativa ambiental vigente.

3.2.2. *Métodos*

- El presente trabajo de titulación al regirse bajo la tipificación de un proyecto técnico es susceptible de la utilización y aplicación de métodos científicos como parte preliminar hacia la obtención de parámetros de diseño y operación que darán lugar al dimensionamiento del equipo. Entre los métodos que se utilizaron consta el deductivo, inductivo y experimental.

- Inductivo

Como paso inicial del proyecto figura la adquisición activa de información que permite llegar hacia una idea general planteada a partir de ideas separadas y específicas, que surgen de la observación de la magnitud en cantidad y nivel de contaminación que producen los desechos generados en el Bioterio después de que los animales cumplen una etapa de experimentación fármaco – médica, la necesidad de someterlos a un tratamiento térmico de descomposición y transformación que permite una solución óptima de gestión de estos residuos.

- Deductivo

Para consolidar el diseño y la construcción del equipo de incineración para residuos biológicos que opere adecuadamente, es necesario definir variables de proceso como la temperatura, cantidad de combustible, cantidad de aire, carga o alimentación de materia, capacidad térmica de los quemadores y parámetros de diseño como dimensiones internas y externas, selección de materiales idóneos, espesor de las paredes, energía producida por la reacción de combustión del combustible, energía requerida por la muestra para iniciar a quemarse, necesidad de aire, con el fin de establecer los criterios correctos tanto de diseño como operación que tendrá el equipo.

- Experimental

Finalmente, en dirección a la obtención de los criterios de diseño que permitirán la construcción del horno incinerador, se encuentra el método experimental el cual proporciona las pautas para la

construcción del equipo bajo condiciones coherentes, que permitirá eliminar el foco de contaminación producido, sujetándose al cumplimiento de la legislación ambiental vigente.

3.2.3. Técnicas

Resume el procedimiento que se efectúa para simular el proceso y obtener datos tras pruebas de experimentación realizadas en el laboratorio, para lo cual se describe a continuación:

3.2.3.1. Identificación de la muestra.

La disposición final de cadáveres de animales de experimentación en el Bioterio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, no son sometidos a tratamientos adecuados para minimizar su impacto al ambiente. El mejor método para tratarlos es la incineración. Según (1), es un método útil para eliminar del laboratorio los cadáveres de animales y los desechos anatómicos, con o sin descontaminación previa.

3.2.3.2. Recolección de la muestra

Las ratas y ratones del Bioterio son objeto de experimentación por parte de los estudiantes y en gran cantidad por los tesisistas. La generación de este tipo de residuos abarca una cantidad aproximada de 90 ratones (peso promedio 30 gramos) y 30 ratas (peso promedio de 300 gramos) por semestre, lo constituirá la muestra para el funcionamiento del equipo.

Sin embargo para llevar a cabo la prueba se tomó 2 cuerpos de ratones, los cuales fueron sacrificados previamente mediante el método de desgonzado.

3.2.4. Obtención a escala de laboratorio de la temperatura óptima de diseño.

3.2.4.1. Equipo Utilizado

Para acción de la prueba, se utiliza el horno de combustión industrial para fundir aluminio que se dispone en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias.

3.2.4.2. Metodología

Previamente al proceso de incineración, se mide en una balanza la masa de los ratones, se los deposita en un crisol cerámico. El equipo de fundición se prepara con antelación, suministrándole al mismo el combustible con el cual opera, que es el GLP, se dispone al quemador a gas de forma inclinada para el alcance de una posición lateral que permita el acceso al hogar del horno por la parte superior, propiciando así un contacto directo de la llama con la muestra. Se consigue el suministro eléctrico adecuado para la operación y finalmente se enciende el quemador para efectuar el proceso.

Tabla 5-3: Procedimiento para la Obtención de la Temperatura de Cremado.

OBJETIVO	MATERIALES Y EQUIPOS	PREPARACIÓN DE MUESTRAS	PROCEDIMIENTO
Determinar la temperatura idónea y tiempo de cremación para animales de experimentación.	<u>Materiales</u> Crisol Cerámico Pinzas <u>Equipos</u> Horno industrial para la fundición de Aluminio Balanza	Cuerpos de ratones sacrificados Medir la masa de la muestra	Ubicar el quemador a gas en el acceso al hogar del horno y encenderlo. Precalentar el horno por 5 minutos hasta que el pirómetro alcance entre 150 y 200 °C. Introducir el crisol que contiene la muestra. Re disponer el quemador hacia el hogar del horno e iniciar la prueba.

	Quemador a GLP		Registrar la temperatura al final del proceso. Retirar el quemador. Extraer las cenizas y medir su masa.
--	----------------	--	--

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

3.2.4.3. Determinación de la temperatura y tiempo de cremado.

Se tomó valores de temperatura medidos mediante un termopar tipo K especial para altas temperaturas y el tiempo se midió mediante un cronómetro convencional.

3.2.4.4. Datos Experimentales

Son obtenidos tras efectuar el procedimiento descrito anteriormente y son especificados en la siguiente tabla:

Tabla 6-3: Datos Experimentales de las pruebas de cremado.

Prueba	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
1	30	555
2	60	448

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

Tabla 7-3: Dato Experimental precalentamiento del Horno.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)
---------------------	-------------------------

5	200
---	-----

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

3.2.4.5. Identificación de Variables

Tabla 8-3: Identificación experimental de variables.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)
45 – 60	500

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

3.2.5. Dimensiones del equipo.

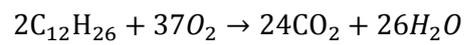
Una vez identificadas las variables que controlan el proceso para el diseño y construcción del equipo de cremado, se procede a realizar el diseño de ingeniería para lo cual se establecerá la cantidad de residuos que van a ser incinerados, tomando en cuenta reacciones de combustión, operaciones unitarias, transferencia de calor, control de procesos, etc.

Las siguientes dimensiones del equipo están basadas en la cantidad de carga a ser incinerada y requerimiento que se establecen en normas, sin embargo, éstos aún se mantuvieron sujetos a cambios ya que solo han sido calculados, basados en estudios previos. Es importante aclarar que los valores se encuentran en unidad de metros.

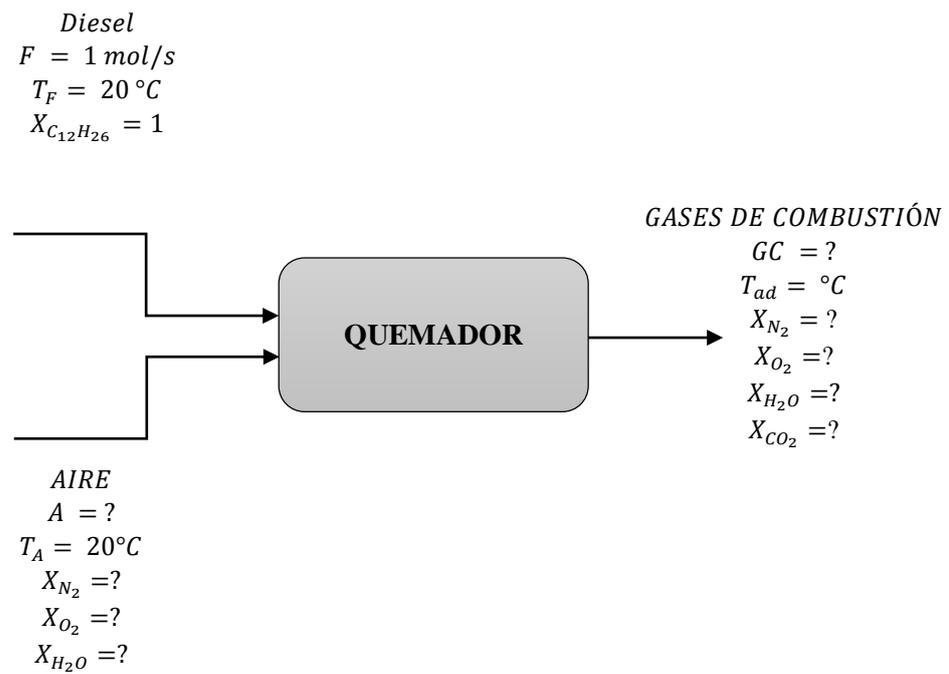
3.3. Cálculos para el diseño del horno incinerador

3.3.1. Balance Estequiométrico

3.3.1.1. Reacción de Combustión del Dodecano



Base de Cálculo = 1 mol/s de DIESEL



3.3.1.2. Cálculo de la Humedad del Aire

Aplicando la Ley de Raoult:

$$P = X P^0$$

Donde:

P = Presión parcial del componente en la mezcla gaseosa (kPa)

P^0 = Presión de vapor del componente puro (kPa)

X = Fracción molar del componente en la mezcla

$$X = \frac{P_{H_2O}}{P_T} ; X = \frac{n_{H_2O}}{n_T}$$

Al igualar los valores de las fracciones:

$$\frac{P_{H_2O}}{P_T} = \frac{n_{H_2O}}{n_T}$$

Donde:

P_{H_2O} = Presión del Agua (kPa)

P_T = Presión Total (kPa)

n_{H_2O} = Flujo Molar de Agua (mol/s)

n_T = Flujo Molar Total (mol/s)

Al despejar:

$$n_{H_2O} = \frac{P_{H_2O} \times n_{aire}}{P_{aire}}$$

Donde:

P_{aire} = Presión del Aire (kPa)

n_{aire} = Moles de aire (mol)

$$P_{H_2O} = \phi P_{SatH_2O}$$

Donde:

P_{SatH_2O} = Presión de Saturación del Agua a una temperatura de 20 °C (kPa)

ϕ = Humedad relativa del aire a 20 °C

$$P_{H_2O} = 1,28 \text{ kPa}$$

$$P_{aire} = 101 \text{ kPa}$$

$$\dot{n}_{H_2O} = 0,0614 \text{ moles/s}$$

Calcular la composición de humedad en el aire:

$$\dot{n}_T = \dot{n}_{aire} + \dot{n}_{H_2O}$$

$$\dot{n}_T = (4,762 + 0,0614) \text{ moles/s}$$

$$\dot{n}_T = 4,8234 \text{ moles/s}$$

$$X_{N_2} = \frac{n_{N_2}}{n_T} = 0,779$$

$$X_{O_2} = \frac{n_{O_2}}{n_T} = 0,2073$$

$$X_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_T} = 0,0127$$

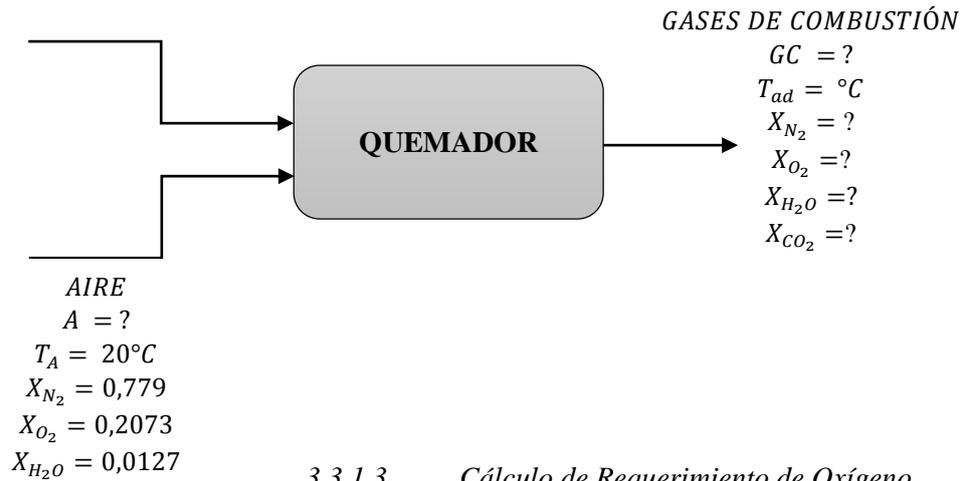
Donde:

X_{N_2} = Fracción de Flujo Molar del Nitrógeno

X_{O_2} = Fracción de Flujo Molar del Oxígeno

X_{H_2O} = Fracción de Flujo Molar del Agua

$$\begin{aligned} & Diesel \\ F &= 1 \text{ mol/s} \\ T_F &= 20 \text{ }^\circ\text{C} \\ X_{C_{12}H_{26}} &= 1 \end{aligned}$$



3.3.1.3. Cálculo de Requerimiento de Oxígeno

Estequiométrico

$$1 \text{ mol/s } C_{12}H_{26} \times \frac{37 \text{ mol/s } O_2}{2 \text{ mol/s } C_{12}H_{26}} = 18,5 \text{ mol/s } O_2$$

$$2,6 \text{ mol/s}$$

3.3.1.4. Cálculo del exceso de aire (50%)

$$O_{2exc} = (exc \times O_{\text{estequiométrico}})$$

$$O_{2exc} = 9,25 \text{ mol/s}$$

3.3.1.5. Cálculo de Aire a la entrada

$$\dot{n}_{\text{aire}} = (O_{\text{estequiométrico}} + O_{2exc})$$

$$\dot{n}_{\text{aire}} = 27,75 \text{ moles/s}$$

3.3.1.6. Cálculo del Dióxido de Carbono producido

$$1 \text{ mol/s } C_{12}H_{26} \times \frac{24 \text{ mol/s } CO_2}{2 \text{ mol/s } C_{12}H_{26}}$$

$$12 \text{ mol/s } CO_2$$

3.3.1.7. Cálculo del Vapor de Agua producido

$$1 \text{ mol/s } C_{12}H_{26} \times \frac{26 \text{ mol/s } H_2O}{2 \text{ mol/s } C_{12}H_{26}}$$

$$13 \text{ mol/s}$$

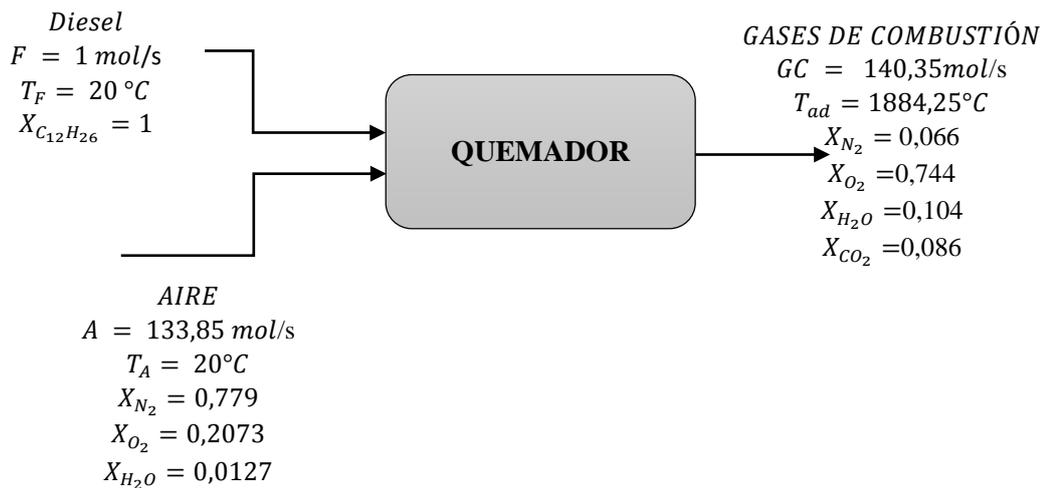


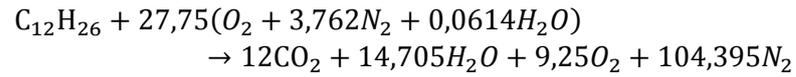
Tabla 9-3: Composiciones molares en la reacción de combustión

COMPUESTO/SUSTANCIA	Reactivos (mol/s)	Productos (mol/s)
$C_{12}H_{26}$	1,000	-
O_2	27,750	9,250
N_2	104, 395	104, 395
CO_2	-	12,000

H_2O	1,705	14,705
--------	-------	--------

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

3.3.1.8. Reacción de combustión completa



3.3.2. Temperatura Adiabática de Flama

3.3.2.1. Cálculo del Calor de Reacción

$$Q_i = \Delta H = \sum_{Salida} \dot{n}_i H_f^o - \sum_{Entrada} \dot{n}_i H_f^o$$

Donde:

Q_i = Calor ideal de Reacción (kJ/s)

ΔH = Variación de Entalpía (kJ/s)

\dot{n}_i = flujo molar (mol/s)

H_f^o = Entalpía de Formación Estándar (kJ/mol)

$$Q_i = -7513,7 \text{ KW}$$

3.3.2.2. Cálculo de la Capacidad Calorífica ($T = 25^\circ C$)

$$C_p = a + bT + cT^2 + dT^3$$

Utilizando, los coeficientes establecidos en la tabla 3-4.

Tabla 10-3: Datos de Entalpía de Formación y Coeficientes para Capacidad Calorífica.

Compuesto	H_f^o	Cp (kJ/mol.K)			
		$\times 10^{-3}$	$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-8}$	$\times 10^{-12}$
O_2	0	29,100	1,1580	-0,6076	1,311
N_2	0	29,000	0,2199	0,5723	-2,871
CO_2	-393,51	36,110	4,2330	-2,8870	7,464
H_2O	-241,826	33,460	0,6886	0,7604	-3,593

Fuente: (Felder, Richard M. y Rousseau, Ronald W. 2004, p. 640)

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

Tanto para reactivos como productos, evaluándolos a una temperatura estándar de 208,15 K:

Tabla 11-3: Capacidad Calorífica a Temperatura Estándar

COMPUESTO/SUSTANCIA	Cp (kJ/mol.K)
$C_{12}H_{26}$	0,37691
O_2	0,0320
N_2	0,0301
CO_2	0,0464
H_2O	0,0361

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

3.3.2.3. Cálculo de la Temperatura adiabática de Flama

$$\sum_{Salida} \dot{n}_i C_{p_i} \times (T_{ad} - T_0) = \sum_{Entrada} \dot{n}_i H_f^o (T_1 - T_0) + Q_i$$

Donde:

C_{p_i} = Capacidad Calorífica del Componente (kJ/ mol.K)

T_{ad} = Temperatura Adiabática de Flama (K)

T_0 = Temperatura de Referencia o Estándar (K)

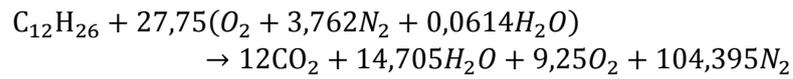
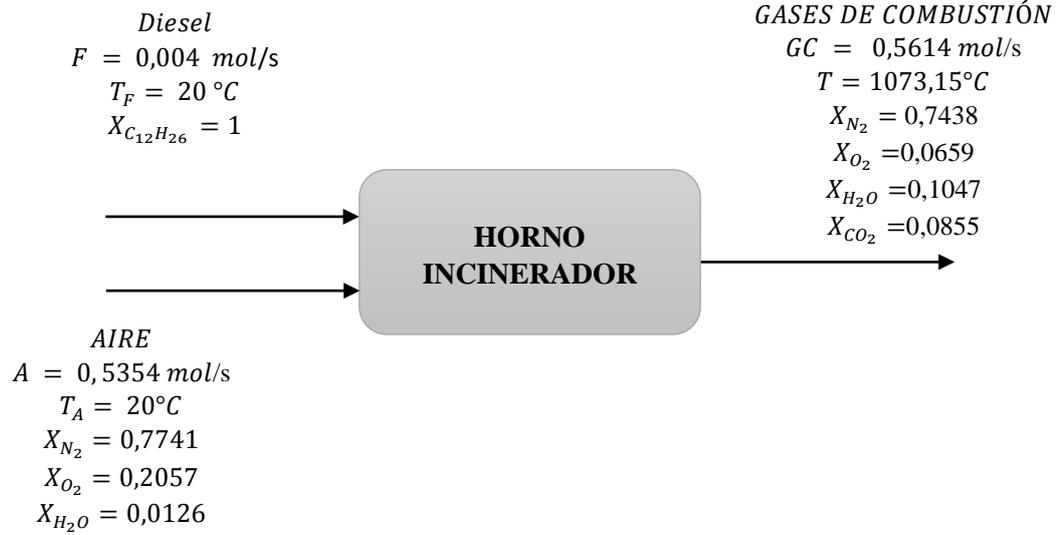
T_1 = Temperatura de Inicial o de Entrada de Reactivos (K)

Con los valores previamente calculados, resolvemos la siguiente igualdad:

$$T_{ad} = \frac{\sum_{Entrada} \dot{n}_i H_f^o (T_1 - T_0) + Q_i}{\sum_{Salida} \dot{n}_i C_{p_i}} + T_0$$

$$T_{ad} = 1936,4 \text{ K}$$

3.3.3. Balance de Masa o Materia



3.3.3.1. Cálculo del Flujo Másico de Combustible (Diésel)

$$\dot{n}_{C_{12}H_{26}} = \frac{\dot{m}_{C_{12}H_{26}}}{PM_{C_{12}H_{26}}}$$

$$\dot{m}_{C_{12}H_{26}} = \dot{n}_{C_{12}H_{26}} \times PM_{C_{12}H_{26}}$$

$$\dot{m}_{C_{12}H_{26}} = 6,8132 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

3.3.3.2. Cálculo del Flujo Volumétrico de Combustible (Diésel)

$$\dot{v}_{C_{12}H_{26}} = \frac{\dot{m}_{C_{12}H_{26}}}{\rho_{C_{12}H_{26}}}$$

$$\dot{v}_{C_{12}H_{26}} = 0,7623 \text{ gal/h}$$

3.3.3.3. Cálculo de Flujo Másico de Aire Requerido

- Para el Oxígeno

$$0,004 \text{ mol/s } C_{12}H_{26} \times \frac{27,75 \text{ mol/s } O_2}{1 \text{ mol/s } C_{12}H_{26}}$$

$$0,111 \text{ mol/s}$$

- Para el Nitrógeno

$$0,004 \text{ mol/s } C_{12}H_{26} \times \frac{104,395 \text{ mol/s } N_2}{1 \text{ mol/s } C_{12}H_{26}}$$

$$0,4176 \text{ mol/s}$$

- Para el Agua

$$0,004 \text{ mol/s } C_{12}H_{26} \times \frac{1,7051 \text{ mol/s } H_2O}{1 \text{ mol/s } C_{12}H_{26}}$$

$$0,0068204 \text{ mol/s}$$

$$\dot{n}_{aire} = 0,5354 \text{ mol/s}$$

$$\dot{m}_{aire} = 0,01537 \text{ kg/s}$$

3.3.3.4. Cálculo de Flujo Volumétrico de Aire Requerido

$$\dot{v}_{\text{aire}} = \frac{\dot{m}_{\text{aire}}}{\rho_{\text{aire}}}$$

$$\dot{v}_{\text{aire}} = 45,9593 \text{ m}^3/\text{h}$$

3.3.3.5. Cálculo del flujo de los gases de combustión

- Para el Dióxido de Carbono

$$0,004 \text{ mol/s } C_{12}H_{26} \times \frac{12 \text{ mol/s } CO_2}{1 \text{ mol/s } C_{12}H_{26}}$$

$$0,048 \text{ mol/s } CO_2$$

- Para el Oxígeno

$$0,004 \text{ mol/s } C_{12}H_{26} \times \frac{9,25 \text{ mol/s } CO_2}{1 \text{ mol/s } C_{12}H_{26}}$$

$$0,037 \text{ mol/s } CO_2$$

- Para el Nitrógeno

$$0,004 \text{ mol/s } C_{12}H_{26} \times \frac{104,395 \text{ mol/s } N_2}{1 \text{ mol/s } C_{12}H_{26}}$$

$$0,041758 \text{ mol/s } CO_2$$

- Para el Agua

$$0,004 \text{ mol/s } C_{12}H_{26} \times \frac{14,7051 \text{ mol/s } H_2O}{1 \text{ mol/s } C_{12}H_{26}}$$

$$0,0588 \text{ mol/s } CO_2$$

$$\dot{n}_{GC} = 0,5614 \text{ mol/s}$$

$$\dot{m}_{GC} = 0,01605 \text{ kg/s}$$

- Balance de Masa General

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$\dot{m}_{C_{12}H_{26}} + \dot{m}_{aire} = \dot{m}_{GC}$$

$$\dot{m}_{C_{12}H_{26}} + \dot{m}_{aire} = 0,01605 \text{ kg/s}$$

3.3.4. Balance de Energía

$$Q = \Delta H = \sum_{\text{Productos}} \dot{n}_i \hat{H} - \sum_{\text{Reactivos}} \dot{n}_i \hat{H}$$

$$\hat{H} = H_f^\circ + \int_{T_{ref}}^T C_p dT$$

Donde:

\hat{H} = Entalpía Específica (kJ/mol)

Para Reactivos:

$$T_{ref} = 298,15 \text{ K}$$

$$T_{ent} = 293,15 \text{ K}$$

$$\hat{H}_R = H_f^\circ + \int_{T_{ref}}^{T_{ent}} C_p dT$$

En el caso del diésel como reactivo, el valor de la entalpía mantiene el valor de la entalpía de combustión.

Tomando los calores de formación desde la tabla 4-3. , de cada compuesto de los reactivos y operando a las condiciones requeridas.

- Para el Diésel (Combustible)

$$\hat{H} = -354,0345 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

- Para el Oxígeno (Aire)

$$\hat{H} = -0,1601 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

- Para el Nitrógeno (Aire)

$$\hat{H} = -0,1504 \frac{kJ}{mol}$$

- Para el Agua (Aire)

$$\hat{H} = -242,0063 \frac{kJ}{mol}$$

Para Productos:

$$T_{ref} = 298,15 \text{ K}$$

$$T_{sal} = 1073,15 \text{ K}$$

$$\hat{H}_P = H_f^o + \int_{T_{ref}}^{T_{sal}} C_p dT$$

- Para el Dióxido de Carbono

$$\hat{H} = -352,2097 \frac{kJ}{mol}$$

- Para el Oxígeno (Aire en Exceso)

$$\hat{H} = 26,6886 \frac{kJ}{mol}$$

- Para el Nitrógeno (Aire en Exceso)

$$\hat{H} = 25,0043 \frac{kJ}{mol}$$

- Para el Agua

$$\hat{H} = -210,3574 \frac{kJ}{mol}$$

- Balance de Energía

$$Q = \Delta H = \sum_{\text{Productos}} \dot{n}_i \hat{H} - \sum_{\text{Reactivos}} \dot{n}_i \hat{H}$$

$$Q = \Delta H = 24,827 \text{ kJ/s}$$

3.3.5. Calor mínimo necesario para quemar la muestra

3.3.5.1. Cálculo de la energía de desnaturalización de la proteína

- Cálculo del peso molecular medio de la proteína

Tabla 12-3: Composición de las proteínas

Elemento	Composición
C	50 %
H	7 %
O	20 %
N	19%
S	4%

Fuente: (Blanco, Antonio 2007, p. 8)

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

$$\overline{PM} = \sum_i^n X_i PM_i$$

$$\overline{PM} = 13,21$$

$$H_d = \frac{Ed}{PM} \times \frac{10^3 g}{1 kg} \times \frac{m_{proteina}}{h} \times \frac{1 h}{3600 s}$$

Donde:

PM = Peso Molecular medio de la muestra (g/mol)

Ed = Energía de desnaturalización de la proteína (kJ/mol)

$m_{proteina}$ = masa de la proteína (kg)

H_d = Entalpia de desnaturalización de proteína (kJ/s)

$$\frac{90 \text{ kJ}}{\text{mol}} \times \frac{1 \text{ mol}}{13,2172 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \times \frac{0,75 \text{ kg}}{h} \times \frac{1 h}{3600 \text{ s}}$$

$$H_d = 1,4186$$

3.3.5.2. Cálculo de la energía necesaria para quemar carne

- Cálculo de la capacidad calorífica de la carne

$$Cp = 1,675 + 2.512 (X_{H_2O})$$

$$Cp = 3,8102$$

Donde:

Cp = Capacidad calorífica de la muestra (kJ/kg.C)

X_{H_2O} = Proporción de agua en la muestra

- Cálculo de la energía de la carne

$$H_C = m_{proteina} Cp \Delta T$$

$$H_C = 0,01984$$

Donde:

H_C = Entalpía de la carne (kJ/s)

$m_{proteina}$ = masa de la proteína (kg)

3.3.5.3. Cálculo de la energía para vaporizar el agua contenida en la muestra

$$\Delta H = H_{vap_{H_2O}} + \int_{298,15 K}^{1073,15 K} Cp_{H_2O} dT$$

$$\Delta H = 72,3067$$

Donde:

ΔH = Energía necesaria para vaporizar el agua (kJ/s)

$H_{vap_{H_2O}}$ = Entalpia de vaporización del agua (kJ/mol)

3.3.5.4. Cálculo de la energía Total mínima para quemar la muestra

$$H_m = \Delta H + H_C + H_d$$

$$H_m = 6,1807$$

Donde:

H_m = Energía Total mínima requerida para quemar la muestra orgánica (kJ/s)

3.3.6. Cálculos Geométricos para dimensionamiento

Se establece reflexivamente las dimensiones internas de las cámaras primaria y secundaria, básicamente en función a la carga de muestra a incinerar, al estudio de nociones básicas del comportamiento de la llama, proceso de combustión y al requerimiento de los quemadores, de manera que como producto de varias consideraciones se reforman las medidas, hasta llegar a las medidas visibles en las tablas 3-4 y 4-4.

3.3.6.1. Cámara Principal

Tabla 13-3: Medidas Internas para la Cámara Principal.

Ancho (<i>a</i>)	Altura (<i>h_{CP}</i>)	Profundidad (<i>p</i>)	Radio Arco (<i>r</i>)
(<i>m</i>)	(<i>m</i>)	(<i>m</i>)	(<i>m</i>)
0,505	0,732	0,662	0,4

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

Es necesario efectuar las operaciones correspondientes para determinar medidas implícitas en la zona del arco, forma que se adopta para conseguir un comportamiento favorable de la llama durante el proceso de combustión.

- Arco

- Ángulo

$$\alpha = 2 \sin^{-1}\left(\frac{a}{2r}\right)$$

$$\alpha = 1,3663$$

Donde:

α = Ángulo del arco (rad)

a = Ancho de la cámara principal (m)

r = Radio del arco (m)

- Altura

$$h_1 = r - r \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$h_1 = 0,0897$$

Donde:

h_1 = Altura del arco (m)

- Longitud

$$la = r \times \alpha$$

$$la = 0,5465$$

Donde:

la = Longitud del arco (m)

– Área del segmento circular

$$A_a = \left(r^2 \times \frac{\alpha}{2} - r^2 \frac{\sin \alpha}{2} \right)$$

$$A_a = 0,031$$

Donde:

A_a = Área del segmento circular (m²)

– Área de la Superficie

$$A_{sa} = (la \times p) + 2 A_a$$

$$A_{sa} = 0,4237$$

Donde:

A_{sa} = Área de la superficie (m²)

– Volumen

$$V_a = A_a \times p$$

$$V_a = 0,0205$$

Donde:

$V_a = \text{Volumen del arco (m}^3\text{)}$

- Paralelepípedo

- Altura

$$j_o = (h_{CP} - h_1)$$

$$j_o = 0,6422$$

Donde:

$j_o = \text{Altura del paralelepípedo (m)}$

- Área de la Superficie

$$A_{po} = [2(a \times j_o) + 2(a \times p) + 2(p \times j_o)]$$

$$A_{po} = 2,1676$$

Donde:

$A_{po} = \text{Área de la Superficie (m}^2\text{)}$

- Volumen

$$V_o = (a \times p \times j_o)$$

$$V_o = 0,2147$$

Donde:

$V_o = \text{Volumen del paralelepípedo (m}^3\text{)}$

- Cálculo del área interna total

$$A_{ICP} = A_{po} + A_{sa}$$

$$A_{ICP} = 2,5913$$

Donde:

$$A_{ICP} = \text{Área interna total (m}^2\text{)}$$

- Cálculo del volumen interno total

$$V_{ICP} = V_a + V_o$$

$$V_{ICP} = 0,2352$$

Donde:

$$V_{ICP} = \text{Volumen interno total (m}^3\text{)}$$

3.3.6.2. Cálculo del espesor de la pared

- Cálculo del calor

$$Q_c = Q_p \times \text{Pérdida} \times 1000$$

$$Q_c = 1241,3$$

Donde:

$$Q_c = \text{Calor tomando en cuenta pérdidas (J/s)}$$

$$Q_p = \text{Calor ideal producido por la combustión de materia (kJ/s)}$$

- Cálculo del espesor

$$es = \frac{K_{CM} \times (j_o \times p) \times (T_{ad} - T_{en})}{Q_c}$$

$$es = 0,10$$

Donde:

es = Espesor (m)

K_{CM} = Constante de conductividad térmica del material (W/K.s)

p = profundidad (m)

3.3.6.3. Cálculo para la capa de cemento refractario

Cálculo de las dimensiones externas

- Paralelepípedo

– Ancho

$$a_{CR} = a + 2 es$$

$$a_{CR} = 0,705$$

– Altura

$$h_{CR} = h_{CP} + 2 es$$

$$h_{CR} = 0,932$$

– Profundidad

$$p_{CR} = p + 2 es$$

$$p_{CR} = 0,862$$

Donde:

a_{CR} = Ancho con la capa de cemento refractario (m)

h_{CR} = altura con la capa de cemento refractario (m)

p_{CR} = Profundidad con la capa de cemento refractario (m)

es = Espesor de la pared de cemento refractario (m)

- Arco

- Ángulo

$$\alpha = 2 \sin^{-1} \left(\frac{a}{2r} \right)$$

$$\alpha = 2 \sin^{-1} \left(\frac{a}{2(0,5)} \right)$$

$$\alpha = 1,5648$$

Donde:

α = Ángulo del arco (rad)

a = Ancho de la cámara principal (m)

r = Radio del arco (m)

- Altura

$$h_1 = r - r \cos \left(\frac{\alpha}{2} \right)$$

$$h_1 = 0,1454$$

Donde:

h_1 = Altura del arco (m)

– Longitud

$$la = r \times \alpha$$

$$la = 0,7824$$

Donde:

la = Longitud del arco (m)

- Cálculo del volumen de la pared de cemento refractario

$$V_{CR} = a_{CR} \times h_{CR} \times p_{CR}$$

$$V_{CR} = 0,5654$$

$$V_{PARED} = V_{CR} - V_{ICP}$$

$$V_{PARED} = 0,3036$$

Donde:

V_{CR} = Volumen externo de las cámaras con cemento refractario (m³)

V_{PARED} = Volumen de la pared de cemento refractario (m³)

3.3.6.4. Cálculo para la recubierta con acero inoxidable

- Cálculo de las dimensiones externas

– Ancho

$$a_{AI} = a_{CR} + 2 e_{AI}$$

$$a_{AI} = 0,713$$

– Altura

$$h_{AI} = h_{CR} + 2 e_{AI}$$

$$h_{AI} = 0,94$$

– Profundidad

$$p_{AI} = p_{CR} + 2 e_{AI}$$

$$p_{AI} = 0,87$$

Donde:

a_{AI} = Ancho con la recubierta de acero inoxidable (m)

h_{AI} = altura con la recubierta de acero inoxidable (m)

p_{AI} = Profundidad con la recubierta de acero inoxidable (m)

e_{AI} = Espesor acero inoxidable (m)

- Cálculo del volumen para el acero inoxidable

$$V_{AI} = a_{AI} \times h_{AI} \times p_{AI}$$

$$V_{AI} = 0,5830$$

$$V_{recubierta} = V_{AI} - V_{CR}$$

$$V_{recubierta} = 0,0176$$

Donde:

V_{CR} = Volumen externo de las cámaras con cemento refractario (m³)

V_{PARED} = Volumen de la pared de cemento refractario (m³)

3.3.7. Cálculo de Transferencia de Calor a través de las paredes

3.3.7.1. Cálculo de la Temperatura de externa del horno

$$T_i = T_o - \frac{x}{k} \times \frac{Q_c}{A}$$

$$T_n = (T_{i+1}) - \frac{x}{K_{Al}} \times \frac{Q_c}{(j_o \times p)}$$

$$T_n = 312,89$$

Donde:

K_{Al} = Constante de conductividad térmica del material acero inoxidable (W/K.s)

T_n = Temperatura externa del horno (K)

3.3.8. Cálculos de dimensionamiento de la chimenea

Éstos cálculos se basan en el Método de Deinlein, que se fundamenta en un principio termodinámico muy sencillo, el cual expresa que al calentarse el gas aumenta en volumen y disminuye en densidad, condiciones en las que ya es posible que sea succionado o desalojado por un gas más denso, en este caso por el aire atmosférico.

3.3.8.1. Cálculo de la velocidad de los gases de combustión

$$V = \frac{Q_g}{A}$$

$$Q_g = \frac{\dot{m}_g}{d_g}$$

$$Q_g = 0,1933$$

$$A = \pi r^2$$

$$A = 0,01767$$

$$V = 10,9394$$

Dónde:

V = Velocidad del gas en la chimenea (m/s)

Q_g = Flujo Volumétrico del gas (m³/s)

\dot{m}_g = Flujo másico de los gases de combustión (Kg/s)

A = Área circular (m²)

r = Radio circular (m)

3.3.8.2. Cálculo del tiro útil por 100 m de chimenea en mm de agua

$$h_{100} = K(d_a - d_g) - 18,15 F' d_g \sqrt{\frac{V^5}{Q_g}}$$

Donde:

h_{100} = Tiro útil por 100 m de chimenea por mm de agua

K = Constante específica del material 80,1 para el acero

d_a = Densidad del aire (Kg/m³)

d_g = Densidad de los gases de combustión (Kg/m³)

F' = Coeficiente de rozamiento para los gases de combustión contra el material, 0.014 para el acero

V = Velocidad del gas en la chimenea (m/s)

Q_g = Flujo Volumétrico del gas (m³/s)

$$h_{100} = 70,7127$$

3.3.8.3. Cálculo de la altura real de la chimenea

$$h_t = h_e + 0,051 d_g V^2$$

$$h_t = 1,75$$

$$H_r = \frac{h_t}{h_{100}} \times 100$$

$$H_r = 2,46$$

Dónde:

h_t = Pérdidas por rozamiento y velocidad del gas (mm de agua)

h_e = Pérdidas por rozamiento (mm de agua)

H_r = Altura real de la chimenea (m)

CAPÍTULO IV.

4. RESULTADOS.

Los valores de los resultados de los flujos tanto de entrada que considera el combustible y el aire, así como los de salida en los que figuran los gases de combustión, fueron obtenidos mediante el programa de cómputo numérico llamado Matlab en su versión 2017, debido a la complejidad y extensión que los cálculos requerían, se detallan los valores obtenidos en las siguientes tablas.

4.1. Resultado de las corrientes

Tabla 14-4: Resultados de corrientes de flujos de combustible, aire y gases de combustión

Compuestos	Reactivos					Productos				
	$\dot{n} \left(\frac{mol}{s} \right)$	x_n	$\dot{m} \left(\frac{Kg}{s} \right)$	x_m	$H \left(\frac{KJ}{s} \right)$	$\dot{n} \left(\frac{mol}{s} \right)$	x_n	$\dot{m} \left(\frac{Kg}{s} \right)$	x_m	$H \left(\frac{KJ}{s} \right)$
Diesel	0,0040	0,0074	0,0007	0,0424	-1,4161	0	0	0	0	0
Oxígeno	0,1110	0,2058	0,0036	0,2212	-0,0178	0,0370	0,0659	0,0012	0,0737	0,9875
Nitrógeno	0,4176	0,7742	0,0117	0,7287	-0,0628	0,4176	0,7438	0,0117	0,7287	10,4414
Dióx. C	0	0	0	0	0	0,0480	0,0855	0,0021	0,1316	-16,9061
Agua	0,0068	0,0126	0,0001	0,0077	-1,6506	0,0588	0,1048	0,0011	0,0660	-12,3733

Fuente: Matlab, (2017).

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

4.2. Resultados de los parámetros de operación

Tabla 15-4: Resultados de requerimientos para la operación del horno incinerador

Temperatura de Flama	Calor Ideal de Reacción	Diesel Consumido			Aire Requerido		Calor Real Entregado
		$\dot{m} \left(\frac{Kg}{h} \right)$	$\dot{V} \left(\frac{L}{h} \right)$	$\dot{V} \left(\frac{gal}{h} \right)$	$\dot{m} \left(\frac{Kg}{h} \right)$	$\dot{V} \left(\frac{ft^3}{min} \right) (scfm)$	
1936,4	-7513,7080	2,4528	2,8856	0,7623	55,34	27,0507	24,827

Fuente: Matlab, (2017).

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

4.3. Resultados del Dimensionamiento Geométrico

4.3.1. Dimensiones Internas

Tabla 16-4: Dimensiones internas de la cámara principal

Ancho	Altura	Profundidad	Radio Arco	Ángulo Arco	Altura Arco	Longitud Arco	Altura Paralelepípedo
(m)	(m)	(m)	(m)	(rad)	(m)	(m)	(m)
0,505	0,732	0,662	0,4	1,3663	0,0897	0,5465	0,6422

Fuente: Matlab, (2017).

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

4.3.2. Dimensiones Externas

Tabla 17-4: Dimensiones Externas del equipo de incineración

Pared	Ancho	Altura	Profundidad
	(m)	(m)	(m)
Cemento Refractario	0,705	0,932	0,862
Acero Inoxidable	0,713	0,940	0,870

Fuente: Matlab, (2017).

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

4.3.3. Volúmenes

Tabla 18-4: Resultados de volúmenes

Cámara/Pared	Volumen
	(m ³)
Cámara Principal	0,2352
Pared de Cemento Refractario	0,3036
Acero Inoxidable	0,0167

Fuente: Matlab, (2017).

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

4.3.4. Resultados de la variación de temperaturas a través de las paredes del equipo

Tabla 19-4: Resultados del perfil de temperatura en cada pared del equipo.

Cámara / Pared	Temperatura
	K
Cámara	1936,4
Cemento Refractario	313,15
Acero Inoxidable	312,89

Fuente: Matlab, (2017).

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

4.3.5. Resultado del Dimensionamiento de la Chimenea

Tabla 20-4: Dimensiones para la chimenea

Diámetro (m)	Altura (m)
0,15	2,46

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

4.3.6. Resultado del Dimensionamiento de la puerta

Tabla 21-4: Dimensiones para la puerta

Ancho (m)	Altura (m)	Espesor (m)
0,4650	0,7021	0,08

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

4.3.7. Elección de los materiales

4.3.7.1. Para la Construcción

- Acero al Carbono

La finalidad de las placas de acero radica en formar la estructura externa que soporte la conformación interna del horno dando lugar a su moldeo, con requerimientos de resistencia mecánica estrictos, por lo que se resuelve utilizar planchas de acero naval con recubrimiento negro. En la siguiente tabla se detalla las dimensiones de cada plancha utilizada.

Tabla 22-4: Especificaciones de las planchas de acero naval.

Ancho (mm)	Largo (mm)	Espesor (mm)	Peso Aproximado (Kg)
1220	2440	4,00	93,47

Fuente: IPAC, (2019).

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

- Cemento Refractario

En base a la alta temperatura de operación, se realiza un análisis minucioso para la selección del material refractario que brinde el servicio de soporte a altas temperaturas, como las que se van a manejar en el horno incinerador. Eligiendo para este propósito el concreto refractario de marca ERECO en su línea CONCRAX 1300 en presentaciones de 25 kg, el cual es de naturaleza silico – aluminoso denso, posee elevada resistencia a la desintegración por choque térmico y ofrece una temperatura máxima de servicio de 1320 °C.

Entre las propiedades típicas que resultaron de mayor interés destaca la composición, la densidad y las cuales se visualizan en la tabla:

Tabla 23-4: Propiedades Típicas del cemento refractario marca Concrax 1300.

Composición (%)	
Al ₂ O ₃	40,5
SiO ₂	40,7
Fe ₂ O ₃	5,7
TiO ₂	2,0
CaO	10,0
MgO	0,4
Álcalis	0,3
Densidad (Kg/m ³)	1900 – 2100
Temperatura Máxima de Servicio (°C)	1320

Fuente: (Corona, GAMMA 2018, p. 1)

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I. 2020

4.3.7.2. Para el Control y Automatización

- Termopar

Al estar definida la temperatura de operación del horno incinerador en 650 °C, se utiliza un termopar Tipo J, el cual posee sus extremos de hierro - constatán, el último se refiere a una aleación de cobre – níquel, y su rango de funcionamiento está comprendido entre 0°C y 750° C, intervalo en el cual se encuentra la temperatura de operación.

4.3.8. Control Automático

El equipo opera mediante un controlador ON/OFF, a un Set-Point de 650 °C, y una banda de tolerancia de 5°C, de este modo se garantiza que la presencia de llama se genere en todo proceso. El control se activa cuando la temperatura del proceso alcanza la temperatura del Set-Point,

apagando el quemador (OFF), se enciende cuando la temperatura esta fuera de la banda de tolerancia (ON). La presencia de llama es debido a que los residuos biológicos la requieren en todo el proceso, para garantizar la reducción a cenizas, de ahí la importancia del controlador ON/OFF.

4.3.9. Resultados de la medición de emisiones atmosféricas

Tabla 24-4: Resultado de la medición de emisiones atmosféricas

Parámetro	Medición
Oxígeno (O ₂) %	8,7
Concentración de NO ₂ (ppm)	0,6
Concentración de CO (ppm)	7192
Concentración de NO _x (ppm)	26,2
Dióxido de Carbono (CO ₂) %	10,21
Eficiencia de la Combustión (%)	65,0
Exceso de Aire (%)	57,0
Temperatura (°C)	462,0
Flujo de Gases (L/min)	0,82

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

En la medición realizada con el analizador gases (TESTO), se reportan los datos reflejados en la tabla 11-4, en dependencia del Diésel, combustible líquido utilizado. A una temperatura de muestreo de 462°C, se desprende un flujo de gases a razón de 0,82 L/min, con 8,7% de O₂ y 10,21 % de CO₂, se produce de forma simultánea una generación de óxidos de nitrógeno, entre NO₂ y NO_x, donde 0, 6 ppm y 26,2 ppm respectivamente. En unidades de miligramos por metro cúbico de gas regido por la norma ambiental los valores se transforman a 0,46 mg/Nm³ y 13,03 mg/Nm³ respectivamente, cantidades de rango inferior al establecido como máximo permisible de 550 mg/Nm³ en la normativa. Ver ANEXO T y una concentración de Monóxido de Carbono de 7192

ppm en promedio en un tiempo de 30 minutos, valor que según la norma (VER ANEXO U) se sitúa como alerta si sobrepasase los 15000 mg/Nm³ o 13106,48 ppm en un periodo de 8 horas, parámetro que en el caso del horno incinerador al tener su periodicidad de operación cada mes por aproximadamente una hora se considera como tolerable su emisión hacia el medio. La operación térmica de combustión tiene una eficiencia medida de 65 % con una cantidad de aire en exceso de 57%. Por tanto, la naturaleza y periodicidad del tratamiento al cual los residuos biológicos serán sometidos constituye una alternativa viable y poco agresiva con el medio ambiente.

4.3.10. Efectividad de reducción a cenizas

Tabla 25-4: Resultados del porcentaje de reducción de materia a cenizas

Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	% Reducido
110	4,7	4,27
102	4,4	4,31

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

4.3.11. Análisis de Costos

4.3.11.1. Costos de Recursos Humanos

Tabla 26-4: Costos de Recursos Humanos

Detalle	Costo (Dólares)
Mano de Obra - construcción del equipo (Mecánico)	800,00
Mano de Obra - control y automatización (Eléctrico)	60,00
SUBTOTAL	860,00
IVA 12%	103,20
TOTAL	963,20

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I. 2020

4.3.11.2. Costos de Recursos Materiales

Tabla 27-4: Costos de Recursos Materiales

Detalle	Cantidad	Costo Unitario (Dólares)	Costo Total (Dólares)
Construcción Mecánica			
Material refractario_Cemento CONCRAX 1300_Marca Erecos (Kg)	500	1,40	700,00
VARILLA DE ACERO 20 MM (Kg)	81,9	0,35	28,67
Servicio de Corte	5	0,15	0,75
Control y Automatización			
Gabinete S.L 30x30x20 cm BEAUCOP	1	28,49	28,49
Control/Temp EMKO ECOLITE 230 V 4.5.2R	1	65,00	65,00
Termocupla NM 2560 J 6.4 200 L 1/2NTP	1	78,00	78,00
Disyuntor CHINT 2P 40 AMP 6KA P RIEL	1	4,65	4,65
Selector CNC 3POS 2NO MOD LAY5-BD33	1	2,40	2,40
Contactador CHINT 3P NXC-18 18 AMP 120V	1	11,50	11,50
PULSADOR CHINT TIPO HONGO C/RETENCION NP2-ES545/ES542	1	2,50	2,50
Luz Piloto LED ROJO/VERDE 110-220V EC	1	0,97	0,97
ETIQUETA STOP 90 MM PUL D/EMERGENCIA NP2-BY8330	1	0,75	0,75
PORTAETIQUETA CHINT	2	1,00	2,00
ENCHUFE COOPER P/GALLINA 20A 3P 250V E.I	1	6,88	6,88
CABLE INCABLE SUPERFLEX 3X12 AWG	13	1,55	20,15
CABLE D/TERMOCUPLA TIPO J CNC PTC/CABT1	2	3,50	7,00
Otros materiales varios	1	30,00	30,00
Costo Equipos Complementarios			
Quemador a Diésel MARCA RIELLO	1	600,00	600,00
SUBTOTAL		838,59	1560,29
12% IVA			187,23
TOTAL			1747,52

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

4.3.11.3. *Otros Costos*

Tabla 28-4: Otros Costos

Detalle	Costo (Dólares)
Transporte y desembarque	50,00
Varios	5,00
TOTAL	55,00

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

4.3.11.4. *Costo Total*

Tabla 29-4: Costos Totales de Construcción

COSTOS TOTALES	Cantidad (Dólares)
COSTOS DE RECURSOS HUMANOS	963,20
COSTOS DE RECURSOS MATERIALES	1747,52
OTROS COSTOS	55,00
TOTAL	2765,72

Realizado por: Guerrero, M; Tene, I.2020

CONCLUSIONES

- Mediante la aplicación del conocimiento, investigación y soporte en herramientas convencionales y tecnológicas se realizó el diseño y construcción de un equipo para la incineración de residuos biológicos generados en el Bioterio de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. La cámara de combustión del equipo diseñado y construido tiene medidas de ancho, altura y profundidad de 0.50 m, 0.73 m, y 0.66 m respectivamente, sumado una pared de material refractario de 0.10 m de espesor y una cubierta externa en acero naval de 0.004 m que definen las dimensiones externas del equipo que son 0.71 m, 0.94 m y 0.87 m para ancho, altura y profundidad. La altura real de la chimenea es 2,46 m que cumple dos roles importantes, aportar una entrada de aire importante para la combustión y evacuar los gases producto de la operación.
- Para ratificar la viabilidad de la operación térmica se determinaron las variables de diseño para el proceso, temperatura y tiempo de incineración, donde los valores resultantes fueron de 600 °C y 30 minutos respectivamente que confirmó pautas necesarias e importantes para concertar respecto al diseño del equipo y toma de decisiones concernientes a la construcción.
- Tras un análisis minucioso se consiguió realizar el diseño de ingeniería mediante la resolución de una serie de cálculos esenciales que describen el desarrollo y cercano comportamiento de la operación, empleando una cantidad de combustible (Diésel) necesario de 0,76 gal/h, un flujo de aire idóneo para garantizar una oxidación completa que cuenta con un exceso del 50 % y responde al valor de 55,34 kg/h. Al provocarse la reacción en condiciones de idealidad la temperatura de llama adiabática alcanza un valor de 1936,4 °C y la liberación de energía debido a la naturaleza de la reacción es 7513,7 KJ/s, el calor mínimo necesario para que la muestra orgánica pueda combustionar es 24,82 KJ/s. El perfil de temperatura que tiene a lugar desde el interior de la cámara de combustión a través de las paredes hacia el exterior, obedecen a temperaturas constantes y conocidas de 600°C y 39,74 °C respectivamente, la temperatura de operación es medida por un termopar tipo J y controlada por un controlador de tipo ON/OFF que trabaja a una temperatura de consigna de 650 °C con un valor de histéresis de 5 °C; condiciones que garantizan el correcto y óptimo funcionamiento del equipo, además de significar un factor de seguridad ante el posible contacto accidental del operario con el equipo.
- En presencia de la Comisión de Validación de la Escuela de Ingeniería Química se verificó el funcionamiento del horno incinerador de residuos biológicos, tras efectuar una práctica del

tratamiento térmico, en la cual se midió la masa de la muestra y sus cenizas, teniendo como resultado una reducción de masa entre el 85 y 95 %, simultáneamente se monitoreó la emisión de gases de combustión producidos por la operación con el analizador de gases (Testo), análisis que refleja valores de flujos y concentraciones de contaminantes comunes como CO, CO₂, NO_x, NO₂, resultando 13106,48 mg/Nm³ , 10.21 %, 13.03 y 0.46 mg/Nm³ respectivamente, mediciones que al ser comparadas con los valores estipulados en la normativa ambiental, contenidos en el libro 6 Anexos 3 y 4 del T.U.L.S.M.A. se encuentran dentro del margen permisible para emisiones atmosféricas desde fuentes fijas, calidad del aire ambiente y niveles de inmisión, lo que significa que el proyecto desarrollado se traduce a una disposición final de los residuos biológicos de una forma amigable con la comunidad y el medio ambiente.

RECOMENDACIONES

- Con la finalidad de alcanzar mayor efectividad en el proceso, que incluye ahorro de combustible y tiempo de cremado, se recomienda realizar el precalentamiento de la cámara al valor de consigna previo a la introducción de la muestra.
- Es importante que el equipo diseñado sea utilizado para el tratamiento de residuos biológicos exclusivamente, es recomendable no introducir residuos de otra tipología.
- Para tratar y minimizar la carga gaseosa contaminante así como la depuración de posibles olores fuertes generados en el proceso, como un estudio posterior puede realizarse el dimensionamiento de un sistema de purgado y filtrado con instalación de filtros, además para conseguir el aprovechamiento del calor producido se puede incursionar en el diseño de un sistema de cogeneración.

BIBLIOGRAFÍA

BARRERA P, C., et al., 2018. Universitat Politècnica de València. , pp. 10.

BLANCO, Antonio, 2007. *Química Biológica*. Octava. S.l.: El Ateneo. ISBN 978-950-02-0422-3.

CASTELLS, X.E., 2005. *Tratamiento y valorización energética de residuos*. S.l.: Ediciones Díaz de Santos. ISBN 978-84-7978-694-6.

CENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A., 2012. *Termodinámica* [en línea]. Séptima. México: Mc Graw Hill. ISBN 978-607-15-0743-3. Disponible en:
<http://joinville.ifsc.edu.br/~evandro.dario/Termodin%C3%A2mica/Material%20Did%C3%A1tico/Livro%20-%20Cengel/Termodinamica%20-%20Cengel%207th%20-%20espanhol.pdf>.

CORONA, GAMMA, 2018. *Concretos Refractarios* [en línea]. mayo 2018. S.l.: s.n. Disponible en: <https://www.gamma.com.co/wp-content/uploads/2018/05/CONCRAX-1300.pdf>.

DAVIES, C., 1970. *Calculations in Furnace Technology*. , pp. 277.

DE SOUZA SANTOS, Mauricio, 2004. *Solid Fuels Combustion and Gasification: Modeling, Simulation, and Equipment Operations* [en línea]. Sao Paulo: Marcel Deeker Inc. ISBN 978-0-203-02729-5. Disponible en:
https://books.google.com.ec/books?id=WLFtLZzkI4sC&pg=PA19&dq=Solid+Fuels&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjB5tei_7rmAhVOnlkKHQEbA3gQ6AEIKDAA#v=onepage&q=Solid%20Fuels&f=false.

FELDER, Richard M. y ROUSSEAU, Ronald W., 2004. *Principios Elementales de los Procesos Químicos*. Tercera. México: Limusa Wiley. ISBN 968-18-6169-8.

HENRY, J.G. y HEINKE, G.W., 1999. *Ingeniería ambiental*. S.l.: Pearson Educación. ISBN 978-970-17-0266-6.

HIMMELBLAU, DAVID M., 1997. *Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química*. Sexta. México: Prentice Hall Hispanoamericana. ISBN 968-880-802-4.

JOSÉ, R.G.S., 2001. *Combustión y Combustibles*. , pp. 23.

KREITH, F., et al., 2012. *Principios de Transferencia de Calor*. S.l.: Cengage Learning Editores. ISBN 978-607-481-615-0.

MARTÍNEZ, Javier, 2005. *Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos. Fundamentos* [en línea]. Uruguay: s.n. Disponible en:
https://www.cempre.org.uy/docs/biblioteca/guia_para_la_gestion_integral_residuos/gestion_res_pel01_fundamentos.pdf.

MULLINGER, P. y JENKINS, B., 2008. *Industrial and process furnaces: principles, design and operation*. 1. ed. Amsterdam: Elsevier/Butterworth-Heinemann. Butterworth-Heinemann/ICHEME series. ISBN 978-0-7506-8692-1.

MULLINGER, P. y JENKINS, B., 2014. *Industrial and process furnaces: principles, design and operation*. Second edition. Kidlington, Oxford: Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier. ISBN 978-0-08-099377-5. TH7140 .M85 2014

RESTREPO, Alvaro, et al., 2004. *Análisis de la influencia de la relación de equivalencia y el precalentamiento del aire en la composición y propiedades de los productos de combustión en un quemador de acpm* [en línea]. 16 abril 2004. S.l.: s.n. Disponible en:
<https://dialnet.unirioja.es › descarga › articulo>.

SALVADOR, A.R., 2010. *La incineradora de residuos: ¿está justificado el rechazo social?*, pp. 13.

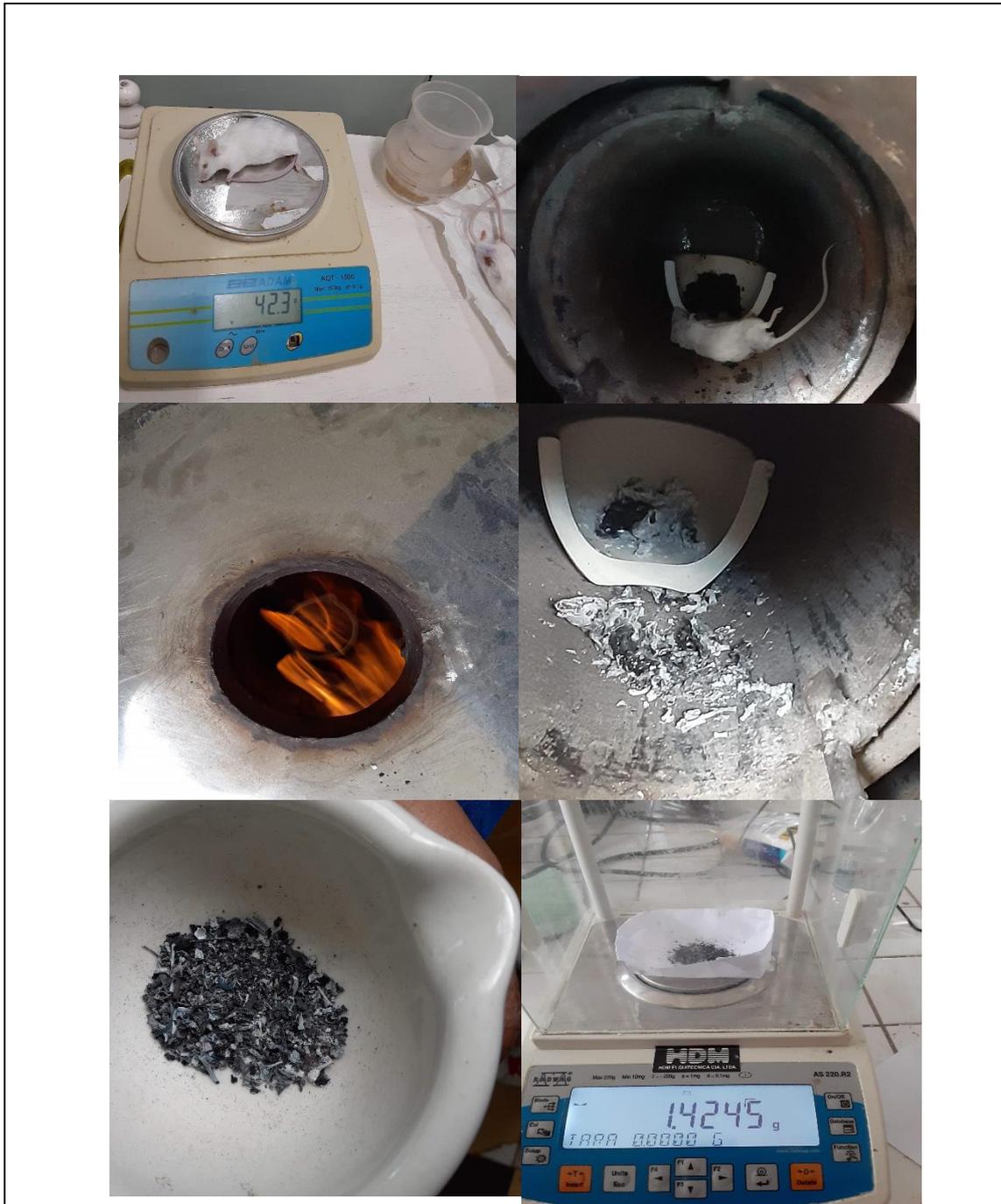
WLPGA, 2017. LPG Exceptional Energy. WLPGA [en línea]. Disponible en:
<https://www.wlpga.org/aboutLGP>.

YARKE, E., 2005. *Ventilación Natural De Edificios c/cd*. S.l.: Nobuko. ISBN 978-987-584-036-2.

YUSDEL DÍAZ, 2018. Diseño de un incinerador tubular de gas licuado para el cremado de desechos biológicos. [en línea], [Consulta: 1 enero 2020]. DOI 10.13140/RG.2.2.33099.85289. Disponible en: <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.33099.85289>.

ANEXOS

ANEXO A. DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA Y TIEMPO DE CREMACIÓN.



ANEXO B. CÓDIGO EN MATLAB DE BALANCE ESTEQUIOMÉTRICO

```
Requisitos.m x General.m x BalanceExceso.m* x +
1 function [coefE] = BalanceExceso(pOperacion,pMasa,pBM)
2
3 %Calculo de moles de agua en el aire
4 pH2O = (pOperacion(1,1)*pMasa(1,3))/10;
5 nH2O1 = (pH2O*(1+pMasa(1,1)))/((pOperacion(1,2)/10)-pH2O);
6
7 %nTotal de aire humedo
8 nTAire = pMasa(1,1)+1+nH2O1;
9 % Composicion de aire
10 xO2 = 1/nTAire;
11 xN2 = pMasa(1,1)/nTAire;
12 xH2O = 1 - xN2-xO2;
13 xAire = [xO2,xN2,xH2O];
14
15 %Balance para una mol de combustible
16
17 coefE = zeros(5,2);
18 coefE(1,1) = 1;%Moles de combustible
19 O2T = coefE(1,1)*pBM(1,2)/pBM(1,1);
20 %Reactivos
21 O2Exc = O2T *(1 + pMasa(1,2));
22 nAirExc = O2Exc/xAire(1,1);
23 nN2 = nAirExc*xAire(1,2);
24 nH2O = nAirExc*xAire(1,3);
25 %Productos
26 nCO2 = coefE(1,1)*pBM(1,3)/pBM(1,1);
27 nH2Op = (coefE(1,1)*pBM(1,4)/pBM(1,1))+nH2O;
28 nN2p = nN2;
29 O2ExcP = O2T *pMasa(1,2);
30
31 coefE(2,1) = O2Exc;
32 coefE(3,1) = nN2;
33 coefE(5,1) = nH2O;
34 coefE(2,2) = O2ExcP;
35 coefE(3,2) = nN2p;
36 coefE(4,2) = nCO2;
37 coefE(5,2) = nH2Op;
38 end
```

ANEXO C. TEMPERATURA ADIABÁTICA DE FLAMA. M1

```

1  function [Tf1,Q] = Tflama(dPropiedades,pOperacion,pMasa,dataDiesel,coefE)
2  %Reactivos
3  sz = size(dPropiedades);
4  Cp= zeros(sz(1),1);
5  for f = 1: sz(1)
6      Tf = @(T) ( (dPropiedades(f,2))+(dPropiedades(f,3)*T)...
7          + (dPropiedades(f,4)*T.^2) +(dPropiedades(f,5)*T.^3));
8      Cp(f,1) = integral(@(T) Tf(T),pOperacion(1,3),pOperacion(1,4));
9  end
10
11  CpDiesel = dataDiesel(1,2)*(pOperacion(1,4)-pOperacion(1,3));
12  HDiesel = CpDiesel + dataDiesel(1,1);
13
14  H= zeros(sz(1),1);
15  for f = 1: sz(1)
16      H(f,1) = Cp(f,1) + dPropiedades(f,1);
17  end
18
19  Hr = [HDiesel;H];
20  sz1 = size(Hr);
21  Hre = zeros(sz1(1),1);
22
23  sHre = 0;
24  for f = 1:sz1(1)
25      Hre(f,1) = coefE(f,1)*Hr(f,1);
26      sHre = sHre + Hre(f,1);
27  end
28  evH2O = coefE(5,1)*pMasa(1,4);
29  %elDiesel = coefE(1,1)*dataDiesel(1,3);
30  HTReac = + evH2O + sHre;
31  %Productos
32  sCpli = 0;
33  for f = 1:sz(1)
34      H2 = coefE(f+1,2)* (dPropiedades(f,1)+(dPropiedades(f,2)*pOperacion(1,3))+(dPropiedades(f,3)*(pOperacion(1,3)^2))/2 ...
35          +(dPropiedades(f,4)*(pOperacion(1,3)^3))/3 + (dPropiedades(f,5)*(pOperacion(1,3)^4))/4);
36      sCpli = sCpli + H2;
37  end
38  sCpls = zeros(sz(1),4);
39  tCpls = zeros(1,4);
40  for f = 1:sz(1)
41      sCpls(f,1) = (dPropiedades(f,5)* coefE(f+1,2))/4;
42      tCpls(1,1) = tCpls(1,1) + sCpls(f,1);
43      sCpls(f,2) = (dPropiedades(f,4)* coefE(f+1,2))/3;
44      tCpls(1,2) = tCpls(1,2) + sCpls(f,2);
45      sCpls(f,3) = (dPropiedades(f,3)* coefE(f+1,2))/2;
46      tCpls(1,3) = tCpls(1,3) + sCpls(f,3);
47      sCpls(f,4) = (dPropiedades(f,2)* coefE(f+1,2))/1;
48      tCpls(1,4) = tCpls(1,4) + sCpls(f,4);
49  end
50  valInd = sCpli-HTReac;
51  ecCuat = [tCpls,valInd];
52  R= roots(ecCuat);
53
54  fun = @(T) (tCpls(1,1))*T.^4 + (tCpls(1,2))*T.^3 + (tCpls(1,3))*T.^2 + (tCpls(1,4))*T + valInd ;
55  M = fzero(fun,0);
56
57  T = -20:5000;
58  x = (tCpls(1,1))*T.^4 + (tCpls(1,2))*T.^3 + (tCpls(1,3))*T.^2 + (tCpls(1,4))*T + valInd;
59  plot(T,x)
60  grid on

```

ANEXO D. TEMPERATURA ADIABÁTICA DE FLAMA. M2

```
Requisitos.m x General.m x Tflama.m x +
61 %%
62 - sz = size(dPropiedades);
63 - Cp1 = zeros(sz(1),1);
64 % Calculo de la capacidades calorificas a Temperatura de referencia
65
66 - for f = 1:sz(1)
67 -     Cp1 (f,1) = (dPropiedades(f,2) + dPropiedades(f,3)*pOperacion(1,3)...
68 -         + dPropiedades(f,4)*(pOperacion(1,3)^2) + dPropiedades(f,5)*(pOperacion(1,3)^
69 - -end
70 - Cp2 = [dataDiesel(1,2);Cp1];
71 % Calculo de la potencia ideal entregada por el quemador
72 - Q = 0;
73 - treac = 0;
74 - tprod = 0;
75 - for f = 1:5
76 -     if f == 1
77 -         qo = ((-coefE(f,1)+coefE(f,2))*dataDiesel(1,1));
78 -         Q = Q + qo;
79 -     else
80 -         qo = ((-coefE(f,1)+coefE(f,2))*dPropiedades(f-1,1));
81 -         Q = Q + qo;
82 -     end
83 - end
84
85 % Calculo de la temperatura de flama
86 - for f = 1:sz(1)
87 -     TR = coefE(f,1)*Cp2(f,1);
88 -     treac = TR + treac;
89 -     TP = coefE(f,2)*Cp2(f,1);
90 -     tprod = TP + tprod;
91 - end
92 - Tf1 = (((treac)*(pOperacion(1,4)- pOperacion(1,3)))+ abs(Q)/tprod)+ pOperacion(1,3);
93 - end
```

ANEXO E. CÓDIGO EN MATLAB. BALANCE DE MASA

```
Requisitos.m  General.m  balanceMasa.m  +
1  function [ope] = balanceMasa(coefE,dataDiesel,dPropiedades)
2  -   sz = size(coefE);
3  -   ope = zeros(sz(1),10);
4  -   fnr = 0;
5  -   fnp = 0;
6  -   fmr = 0;
7  -   fmp = 0;
8  -   for f = 1:sz(1)
9  -       ope(f,1) = dataDiesel(1,4) *(coefE(f,1)/coefE(1,1));
10 -       fnr = fnr + ope(f,1);
11 -       ope(f,6) = dataDiesel(1,4) *(coefE(f,2)/coefE(1,1));
12 -       fnp = fnp + ope(f,6);
13 -       if f==1
14 -           ope(f,3) = (ope(f,1) * dataDiesel(1,5))/1000;
15 -           fmr = fmr + ope(f,3);
16 -       else
17 -           ope(f,3) = (ope(f,1) * dPropiedades(f-1,6))/1000;
18 -           fmr = fmr + ope(f,3);
19 -       end
20
21 -       if f==1
22 -       else
23 -           ope(f,8) = (ope(f,6) * dPropiedades(f-1,6))/1000;
24 -           fmp = fmp + ope(f,8);
25 -       end
26
27 -       end
28 -   for f = 1:sz(1)
29 -       ope(f,2) = ope(f,1) /fnr;
30 -       ope(f,4) = ope(f,3) /fmr;
31 -       ope(f,7) = ope(f,6) /fnp;
32 -       ope(f,9) = ope(f,8) /fmp;
33 -   end
34
35 - end
36
37
```

ANEXO F. CÓDIGO EN MATLAB PARA EL BALANCE DE ENERGÍA

```
Editor - balanceEnergia.m
balanceEnergia.m x + Variables - tabl

1 function [ope,para] = balanceEnergia(dPropiedades,pOperacion,ope,dataDiesel)
2 -   sz = size(ope);
3 -   Cp = zeros(sz(1),2);
4 -   H = zeros(sz(1),2);
5 -   Cp(1,1) = dataDiesel(1,2)*(pOperacion(1,4) - pOperacion(1,3));
6 -   for f = 1: sz(1)
7 -       if f == 1
8 -           else
9 -               Tf = @(T) ((dPropiedades(f-1,2))+(dPropiedades(f-1,3)*T)...
10 -                   + (dPropiedades(f-1,4)*T.^2) + (dPropiedades(f-1,5)*T.^3));
11 -               Cp(f,1) = integral(@(T) Tf(T),pOperacion(1,3),pOperacion(1,4));
12 -               Cp(f,2) = integral(@(T) Tf(T),pOperacion(1,3),573.15);
13 -           end
14 -       end
15 -
16 -   for f = 1: sz(1)
17 -       if f ==1
18 -           H(f,1) = Cp(f,1) + dataDiesel(1,1);
19 -       else
20 -           H(f,1) = Cp(f,1) + dPropiedades(f-1,1);
21 -           H(f,2) = Cp(f,2) + dPropiedades(f-1,1);
22 -       end
23 -
24 -   end
25 -   HReac = 0;
26 -   HPro = 0;
27 -   for f = 1: sz(1)
28 -       ope(f,5) = H(f,1) *ope(f,1);
29 -       HReac = HReac + ope(f,5);
30 -       ope(f,10) = H(f,2) *ope(f,6);
31 -       HPro = HPro + ope(f,10);
32 -   end
33 -   para = zeros(1,8);
34 -   para(1,8) = HReac - HPro; % Q reaccion
35 -   para(1,3) = ope(1,3)*3600; % masa del diesel
36 -   para(1,4) = (para(1,3)/ dataDiesel(1,6))*1000; % volumen del diesel
37 -   para(1,5) = (para(1,4)/3.785);
38 -   para(1,6) = (ope(2,3) + ope(3,3)+ ope(5,3))*3600; % masa del aire
39 -   %Caudal de aire en m^3/s
40 -   QAm3h = (para(1,6) / pOperacion(1,5));
41 -   %Caudal del aire en cfm (ft^3/min)
42 -   para(1,7) = QAm3h *0.588578;
43 -   end
44 -
45 -
Command Window
```

ANEXO G. CÓDIGO EN MATLAB. DIMENSIONES GEOMÉTRICAS. Cámara Principal

```
Requisitos.m x General.m x cPrincipal.m x +
1 function [VoT,alfa,h1,Lao,jo] = cPrincipal(dimenILR)
2     % arco
3
4     %Ángulo del arco / metros
5 -   alfa = 2*asin((dimenILR(1,1))/(2*dimenILR(1,4)));
6     %Altura de arco / metros
7 -   h1= dimenILR(1,4) - dimenILR(1,4)*cos(alfa/2);
8     %Longitud del Arco/ metros
9 -   Lao = dimenILR(1,4) * alfa;
10    % Area segmento circular / metros cuadrados
11 -   Aa = ((dimenILR(1,4)^2)* (alfa/2))-(((dimenILR(1,4)^2)*sin(alfa))/2);
12    % Area superficie del arco (m^2)
13 -   Asa = Lao * (dimenILR(1,3))+ (Aa*2);
14    % Volumen del Arco (m^3)
15 -   Va = Aa* dimenILR(1,3);
16
17
18    % Paralelepípedo
19
20 -   jo = (dimenILR(1,2)) - h1; %altura
21    % Area superficial
22 -   Apo = (2*(dimenILR(1,1)*dimenILR(1,3)))+ 2*((dimenILR(1,3)* jo)) + 2*(jo*(dimenILR(1,1)
23    % Volumen (m^3)
24 -   Vpo = jo*dimenILR(1,3)*dimenILR(1,1);
25
26 -   AoT = Asa + Apo;
27 -   VoT = Va + Vpo;
28 -   end
--
```

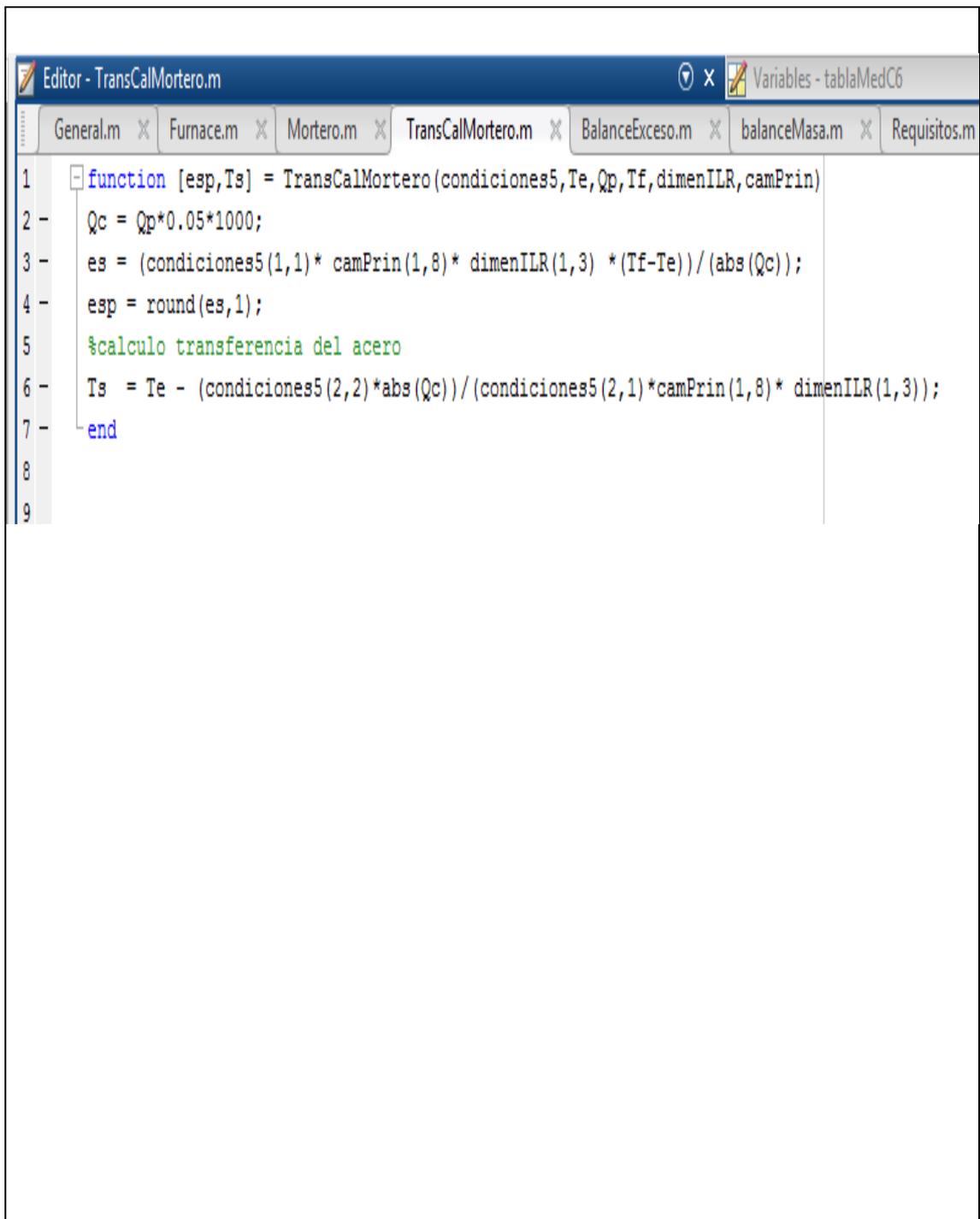
ANEXO H. CÓDIGO EN MATLAB. DIMENSIONES. Cemento Refractario

```

1  function [tablaMEDCP, tablaMEDCS, tablaMedC, tablaV, tablaTEMP] = Mortero(condiciones5, dimenILR, dimenCSE, Te, Qp, T
2  %camara principal
3  [camPrin, VoT] = CPMortero(dimenILR);
4  %Volumen camara secundaria
5  VCs = dimenCSE(1,1)* dimenCSE(1,2) * dimenCSE(1,3);
6  %calculo Espesor de pared
7  [esp, Ts] = TransCalMortero(condiciones5, Te, Qp, Tf, dimenILR, camPrin);
8
9  %capas externas
10 aTLN = (dimenILR(1,1))+(2*esp); %Ancho Total de Ladrillo Normal
11 hTLN = (dimenILR(1,2)+dimenCSE(1,2)+(3*esp)); %Altura Total de Ladrillo Normal
12 pTLN = (dimenILR(1,3)+(2*esp)); %Profundidad Total de Ladrillo Normal
13 vLN = aTLN * hTLN * pTLN;
14
15 VolPared = vLN - VCs - VoT;
16
17 dimenPar = [aTLN, hTLN, pTLN];
18 dimenAce = zeros(1,3);
19 volAce = 1;
20 for f=1:3
21     dimenAce(1,f) = dimenPar(1,f) + (2*condiciones5(2,2));
22     volAce = volAce * dimenAce(1,f);
23 end
24 vAce = volAce - VolPared;
25 Vol = [VoT; VCs; VolPared; vAce];
26 temp = [Tf; Te; Ts];
27 tabladimen = [dimenPar; dimenAce];
28
29 tablaMEDCP = array2table(camPrin);
30 tablaMEDCP.Properties.VariableNames = {'An', 'Alt', 'Prof', 'Rad_ar', 'Ang_Ar'...
31     'Alt_ar', 'Long_ar', 'Alt_PP'};
32 tablaMEDCP.Properties.RowNames = {'Medidas_CP'};
33
34 tablaMEDCS = array2table(dimenCSE);
35 tablaMEDCS.Properties.VariableNames = {'Ancho', 'Altura', 'Profundidad'};
36 tablaMEDCS.Properties.RowNames = {'Medidas_CS'};
37
38 tablaMedC = array2table(tabladimen);
39 tablaMedC.Properties.VariableNames = {'Ancho', 'Altura', 'Profundidad'};
40 tablaMedC.Properties.RowNames = {'Pared', 'Acero'};
41
42 tablaV = array2table(Vol);
43 tablaV.Properties.VariableNames = {'Volumen'};
44 tablaV.Properties.RowNames = {'Camara_principal', 'Camara_secundaria', ...
45     'Pared', 'Acero'};
46
47 tablaTEMP = array2table(temp);
48 tablaTEMP.Properties.VariableNames = {'Temperatura_K'};
49 tablaTEMP.Properties.RowNames = {'Camara', 'Pared', 'Acero'};
50 end
51

```

ANEXO I. CÓDIGO EN MATLAB. TRANSFERENCIA DE CALOR



```
Editor - TransCalMortero.m
Variables - tablaMedC6
General.m x Furnace.m x Mortero.m x TransCalMortero.m x BalanceExceso.m x balanceMasa.m x Requisitos.m
1 function [esp,Ts] = TransCalMortero(condiciones5,Te,Qp,Tf,dimenILR,camPrin)
2     Qc = Qp*0.05*1000;
3     es = (condiciones5(1,1)* camPrin(1,8)* dimenILR(1,3) *(Tf-Te))/(abs(Qc));
4     esp = round(es,1);
5     %calculo transferencia del acero
6     Ts = Te - (condiciones5(2,2)*abs(Qc))/(condiciones5(2,1)*camPrin(1,8)* dimenILR(1,3));
7     end
8
9
```

ANEXO J. CÓDIGO EN MATLAB. REQUISITOS GENERALES DE EJECUCIÓN

```
Requisitos.m x General.m x +
1 function [tablaCorrientes,tablaParametros] = Requisitos(dPropiedades,pOperacion,pMasa,pBM,dataDie
2 [coefE ] = BalanceExceso(pOperacion,pMasa,pBM);
3 [Tf1,Q] = Tflama(dPropiedades,pOperacion,pMasa,dataDiesel,coefE);
4 [ope] = balanceMasa(coefE,dataDiesel,dPropiedades);
5 [ope1,para] = balanceEnergia(dPropiedades,pOperacion,ope,dataDiesel);
6 para(1,1) = Tf1;
7 para(1,2) = Q;
8
9 tablaCorrientes=array2table(ope1);
10 tablaCorrientes.Properties.VariableNames = {'nr_i_mol_s','xr_i','mr_i_kg_s','yr_i','Hr_i_KW'...
11 'np_i_mol_s','xp_i','mp_i_kg_s','yp_i','Hp_i_KW'};
12 tablaCorrientes.Properties.RowNames = {'C12H26','O2','N2','CO2','H2O'};
13
14 tablaParametros=array2table(para);
15 tablaParametros.Properties.VariableNames= {'Tflama_K','Qirx_KW','mDiesel_Kg_h',...
16 'vDiesel_L_h','vDiesel_gal_h','mAir_Kg_h', 'cfmAire_ft_3_min','Qpro_KW'};
17 end
18
```

ANEXO K. CÓDIGO EN MATLAB. VENTANA DE EJECUCIÓN. REDISEÑO

```

Editor - Furnace.m
balanceEnergia.m x Furnace.m x + Variables - tablaMedC6

1 function [tablaMEDCP, tablaMedC, tablaV, tablaTEMP] = Furnace( condiciones5, Te, Qp, Tf, dimenILR)
2     %camara principa
3     [camPrin, VoT] = CPMortero(dimenILR);
4     %calculo Espesor de pared
5     [esp, Ts] = TransCalMortero(condiciones5, Te, Qp, Tf, dimenILR, camPrin);
6     %capas externas
7     aTLN = (dimenILR(1,1))+(2*esp); %Ancho Total de Cemento Refractario
8     hTLN = (dimenILR(1,2)+(2*esp)); %Altura Total de Cemento Refractario
9     pTLN = (dimenILR(1,3)+(2*esp)); %Profundidad Total de Cemento Refractario
10    volpa = aTLN*hTLN*pTLN;
11    rTLN = camPrin(1,4) +esp;
12    dcex = [aTLN, hTLN, pTLN, rTLN];
13
14    [dce, VoT1] = CPMortero(dcex);
15
16    dimenarc = [camPrin; dce];
17
18    volcr = VoT1 - VoT;
19
20    %Acero
21    aacer = aTLN + (2*condiciones5(2,2));
22    haccer = hTLN + (2*condiciones5(2,2));
23    paccer = pTLN + (2*condiciones5(2,2));
24
25    volacer = aacer*haccer*paccer;
26    volTacer = volacer - volpa;
27    dimenAcer = [aacer, haccer, paccer];
28    dimenext = [dcex(1,1), dcex(1,2), dcex(1,3); dimenAcer];
29    Vol = [VoT; volcr; volTacer];
30    temp = [Tf; Te; Ts];
31
32    tablaMEDCP = array2table(dimenarc);
33    tablaMEDCP.Properties.VariableNames = {'An', 'Alt', 'Prof', 'Rad_ar', 'Ang_Ar'...
34                                           'Alt_ar', 'Long_ar', 'Alt_PP'};
35    tablaMEDCP.Properties.RowNames = {'Medidas_int', 'Medidas_ext'};
36
37    tablaMedC = array2table(dimenext);
38    tablaMedC.Properties.VariableNames = {'Ancho', 'Altura', 'Profundidad'};
39    tablaMedC.Properties.RowNames = {'Pared', 'Acero'};
40
41    tablaV = array2table(Vol);
42    tablaV.Properties.VariableNames = {'Volumen'};
43    tablaV.Properties.RowNames = {'Camara', ...
44                                  'Pared', 'Acero'};
45
46    tablaTEMP = array2table(temp);
47    tablaTEMP.Properties.VariableNames = {'Temperatura_K'};
48    tablaTEMP.Properties.RowNames = {'Camara', 'Pared', 'Acero'};
49    end

```

ANEXO L. CÓDIGO EN MATLAB. VENTANA GENERAL DE EJECUCIÓN.

```
Editor - General.m Variables - tablaMedC6
General.m x +
1 -   clc,clear;
2 -   addpath('Funciones/');
3 -   dPropiedades = csvread('Datos/Data_Diesel.csv');
4 -       %nNit(MOL),exc, hum, H de vaporizacion(KJ/mol)
5 -   pMasa = [3.762, 0.5, 0.55, 40.656];
6 -   %pSat(hPA), pAtm(HpA), Tref(k), T1(K), densidad aire Kg/m^3
7 -   pOperacion = [23.393, 1010, 298.15,293.15,1.204];
8 -   % Balance estquiometrico Reacción de combustion del Dod ecano
9 -       pBM = [2,37,24,26];
10 -  %Datos del diesel
11 -       %h°f = KJ/mol,Cp=KJ/molK,hc= KJ/mol,F=mol/s,PM=g/mol,Densidad=Kg/m^3
12 -  dataDiesel = [-352.15,0.37691,-7901.74,0.004,170.33,850];
13 -  [tablaCorrientes,tablaParametros] = Requisitos(dPropiedades,pOperacion,pMasa,pBM,dataDiesel);
14 -  %%
15 -  Tf = tablaParametros.Tflama_K;|
16 -  Qp = tablaParametros.Qpro_KW;
17 -  Te = 313.15;
18 -  %Cámara principal
19 -       %Ancho(ao),Alto(ho),Profundidad(Po), RadioArco(ro) (m)
20 -  dimenILR = [0.505,0.732,0.662,0.4];
21 -
22 -  %Camara secundaria
23 -       %Ancho(ao),Alto(ho),Profundidad(Po) (m)
24 -  dimenCSE = [0.5,0.3,0.7];
25 -
26 -       % Alto,Ancho,Profundidad Dimensiones de ladrillos (m)
27 -  dimLNLR = [[0.11,0.85,0.27];...%Ladrillo Normal
28 -             [0.11,0.03,0.22]]; %Ladrillo Refractario
29 -
30 -  % Densidad cemento normal y refractario (Kg/m^3)
31 -  den = [1440,1350,45];
32 -  %Acero
33 -  dimA =[1.22,2.44];
```

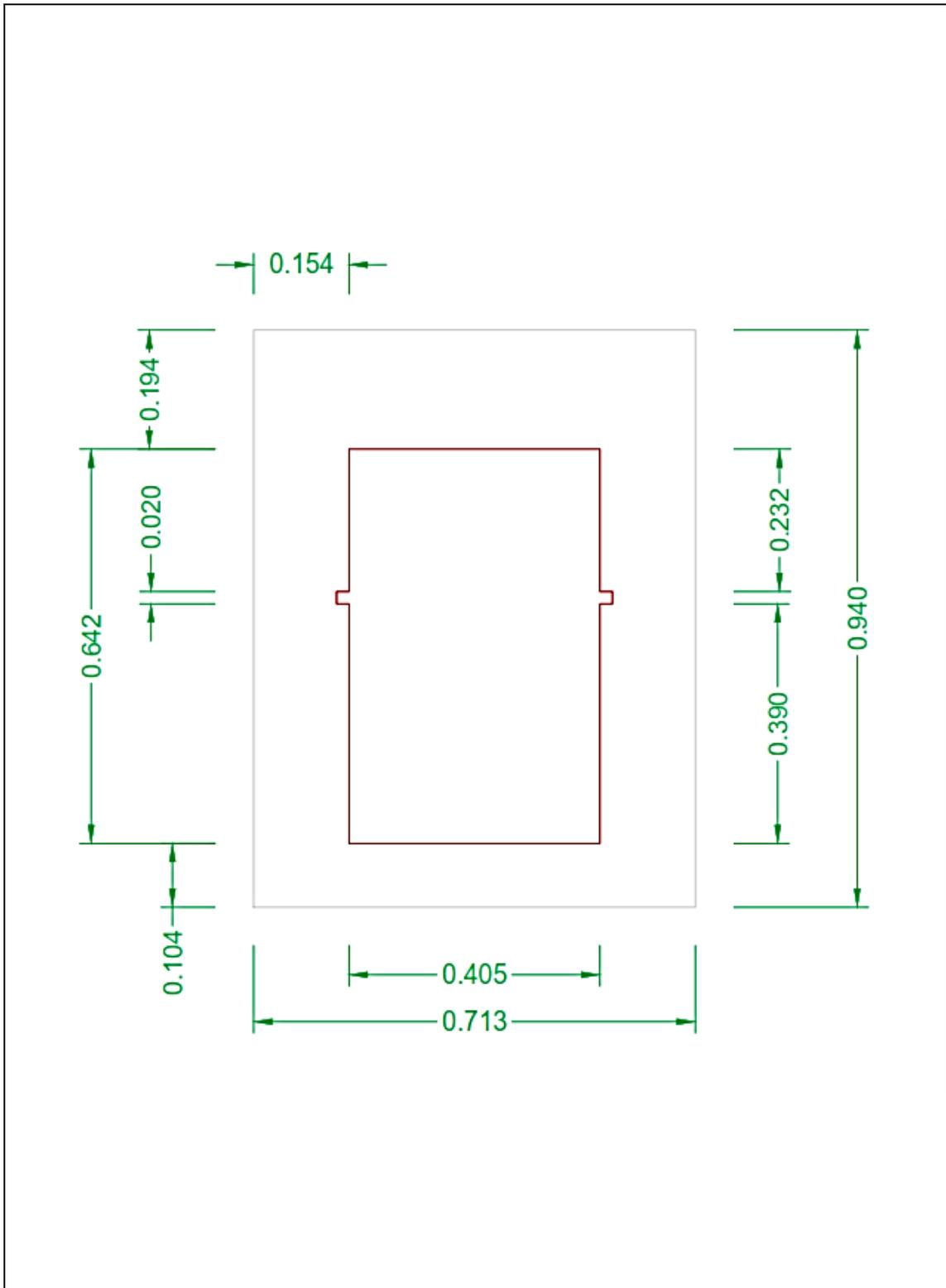
```

35 - condiciones1=[1.4,0.06];... %Lrefrac
36         [1.1, 0.01];...% Dato cemento REFRACTARIO ARQUIMASTER
37         [0.52,0.11];... % L.Normal
38         [0.29,0.02];...% cemento
39         [0.29, 0.01];...% Cemento
40         [45,0.004]]; % acero inox
41
42
43 %Aislantes Modelo2
44 - condiciones2=[1.4,0.06];...%Lrefrac
45         [1.1, 0.01];...% Dato cemento REFRACTARIO ARQUIMASTER
46         [0.52,0.11];...L.Normal
47         [0.29,0.015];...% cemento
48         [0.04,0.0254];...%Lana de vidrio
49         [45,0.004]]; %acero inox
50
51 %Aislantes Modelo3
52 - condiciones3=[1.4,0.06];...%Lrefrac
53         [1.1, 0.01];...% Dato cemento REFRACTARIO ARQUIMASTER
54         [0.52,0.11];...L.Normal
55         [0.29,0.02];...% cemento
56         [0.04,0.05];...% Lana Mineral de roca
57         [45,0.004]]; %acero inox
58
59 %Aislantes Modelo4
60 - condiciones4=[1.4,0.06];...%Lrefrac
61         [1.1, 0.01];...% Dato cemento REFRACTARIO ARQUIMASTER
62         [0.52,0.11];...L.Normal
63         [0.29,0.02];...% cemento
64         [0.028,0.01];...% Espuma de Poliuretano
65         [45,0.004]]; %acero inox
66         %k=W/mK,d= Kg/m^3
67
68 condiciones5 = [[0.18, 1650];... % Mortero con vermiculita %k=W/mK,d= Kg/m^3
69         [45,0.004]]; %acero inox %k=W/mK,e=m
70
71 [tablaMEDCP,tablaMEDCS,tablaMedC,tablaV] = Estructura(dimenILR,condiciones1,dimencSE);
72 [tablaMEDCP1,tablaMEDCS1,tablaMedC1,tablaV1] = Estructura(dimenILR,condiciones2,dimencSE);
73 [tablaMEDCP2,tablaMEDCS2,tablaMedC2,tablaV2] = Estructura(dimenILR,condiciones3,dimencSE);
74 [tablaMEDCP3,tablaMEDCS3,tablaMedC3,tablaV3] = Estructura(dimenILR,condiciones4,dimencSE);
75
76 [tablaTEMP1,tablaQP1] = TransCalor(condiciones1,Tf,Te,dimencSE,Qp);
77 Temp1= tablaTEMP1.Temperatura_K;
78
79 [tablaTEMP2,tablaQP2] = TransCalor(condiciones2,Tf,Te,dimencSE,Qp);
80 Temp2= tablaTEMP2.Temperatura_K;
81
82 [tablaTEMP3,tablaQP3] = TransCalor(condiciones3,Tf,Te,dimencSE,Qp);
83 Temp3= tablaTEMP3.Temperatura_K;
84
85 [tablaTEMP4,tablaQP4] = TransCalor(condiciones4,Tf,Te,dimencSE,Qp);
86 Temp4= tablaTEMP4.Temperatura_K;
87
88 [tablaMEDCP5,tablaMEDCS5,tablaMedC5,tablaV5,tablaTEMP5] = Mortero(condiciones5,dimencSE,Te,Qp,Tf);
89 Temp5 = tablaTEMP5.Temperatura_K;
90
91 [tablaMEDCP6,tablaMedC6,tablaV6,tablaTEMP6] = Furnace( condiciones5,Te,Qp,Tf,dimencSE);
92 Temp6 = tablaTEMP6.Temperatura_K;
93
94 subplot(3,2,1);
95 plot(Temp1(:,1),'r-o');
96 grid on
97 ylabel ('Temperatura')
98 xlabel('Número de capas')
99 title('Variación de la Temperatura en la pared')

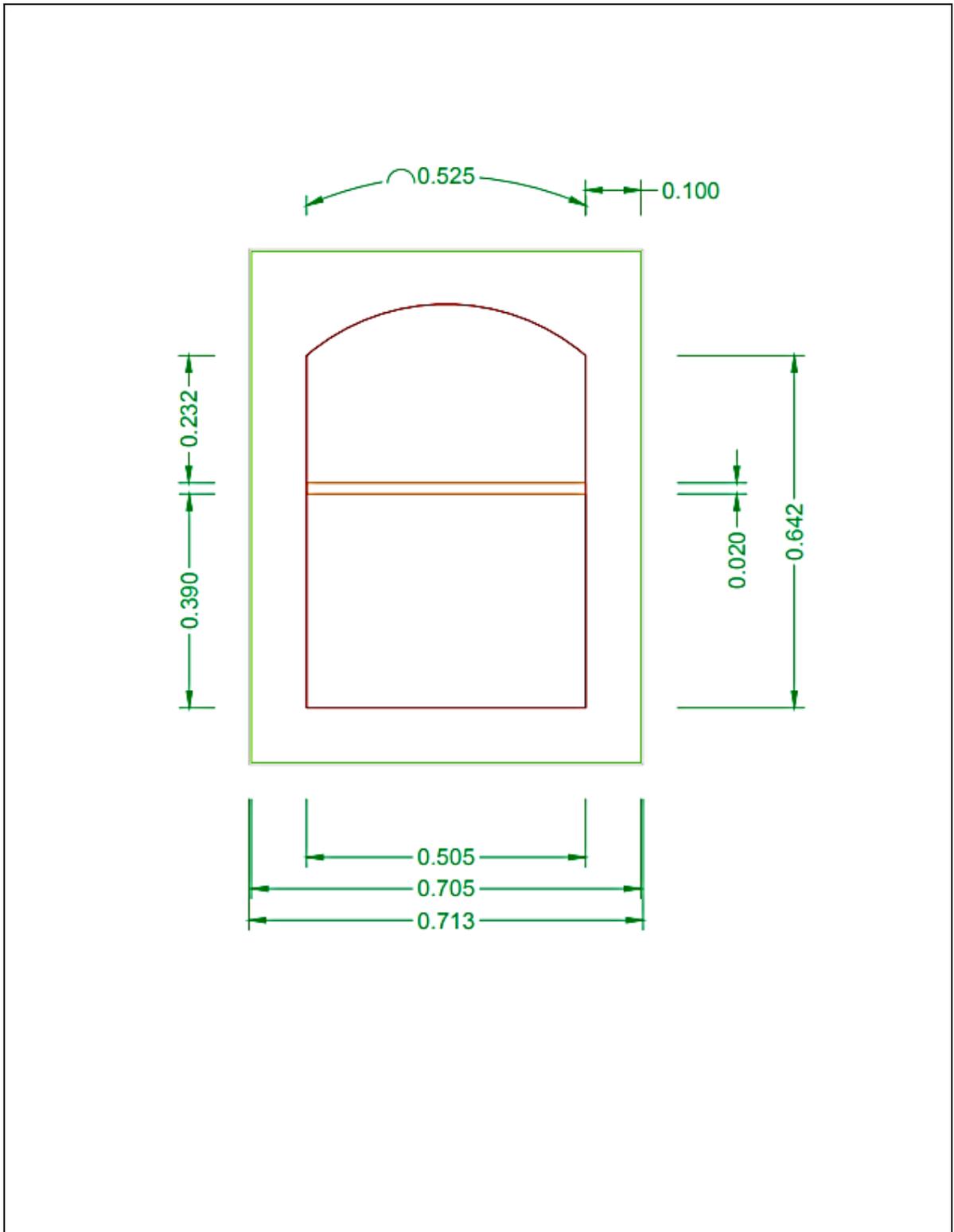
```

```
101 - subplot(3,2,2);
102 - plot(Temp2(:,1), 'r-o');
103 - grid on
104 - ylabel ('Temperatura')
105 - xlabel('Número de capas')
106 - title('Variación de la Temperatura en la pared')
107
108 - subplot(3,2,3);
109 - plot(Temp3(:,1), 'r-o');
110 - grid on
111 - ylabel ('Temperatura')
112 - xlabel('Número de capas')
113 - title('Variación de la Temperatura en la pared')
114 - subplot(3,2,4);
115 - plot(Temp4(:,1), 'r-o');
116 - grid on
117 - ylabel ('Temperatura')
118 - xlabel('Número de capas')
119 - title('Variación de la Temperatura en la pared')
120
121 - subplot(3,2,5);
122 - plot(Temp5(:,1), 'r-o');
123 - grid on
124 - ylabel ('Temperatura')
125 - xlabel('Número de capas')
126 - title('Variación de la Temperatura en la pared')
127
128 - subplot(3,2,6);
129 - plot(Temp6(:,1), 'r-o');
130 - grid on
131 - ylabel ('Temperatura')
132 - xlabel('Número de capas')
133 - title('Variación de la Temperatura en la pared')
```

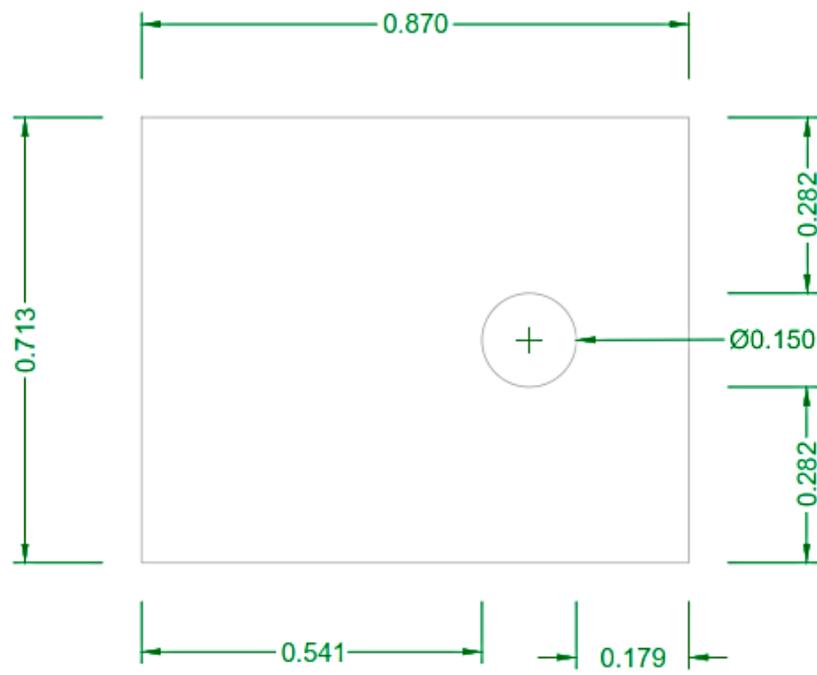
ANEXO M. PLANO DEL EQUIPO.VISTA FRONTAL



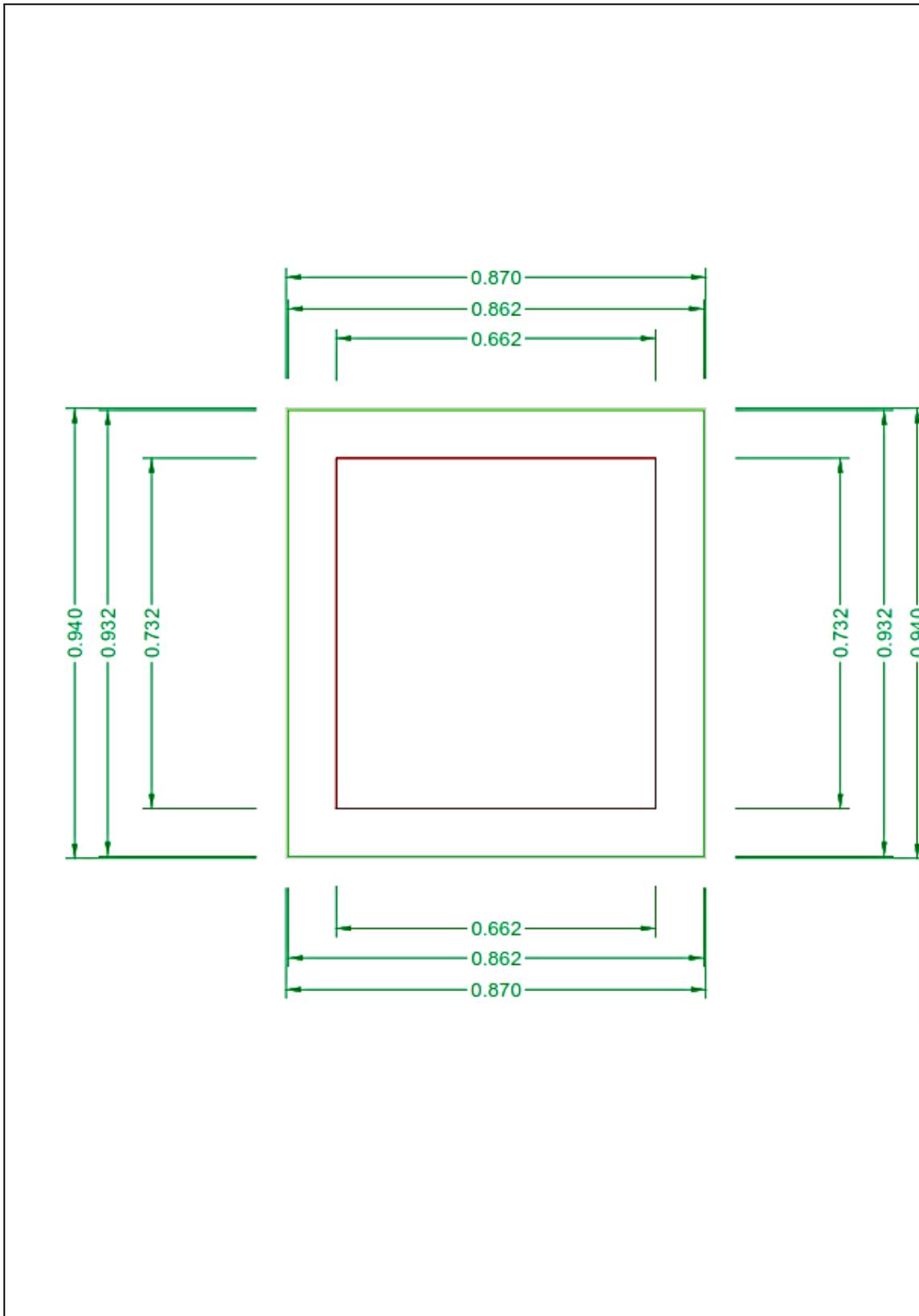
ANEXO N. PLANO EQUIPO. CORTE VISTA FRONTAL



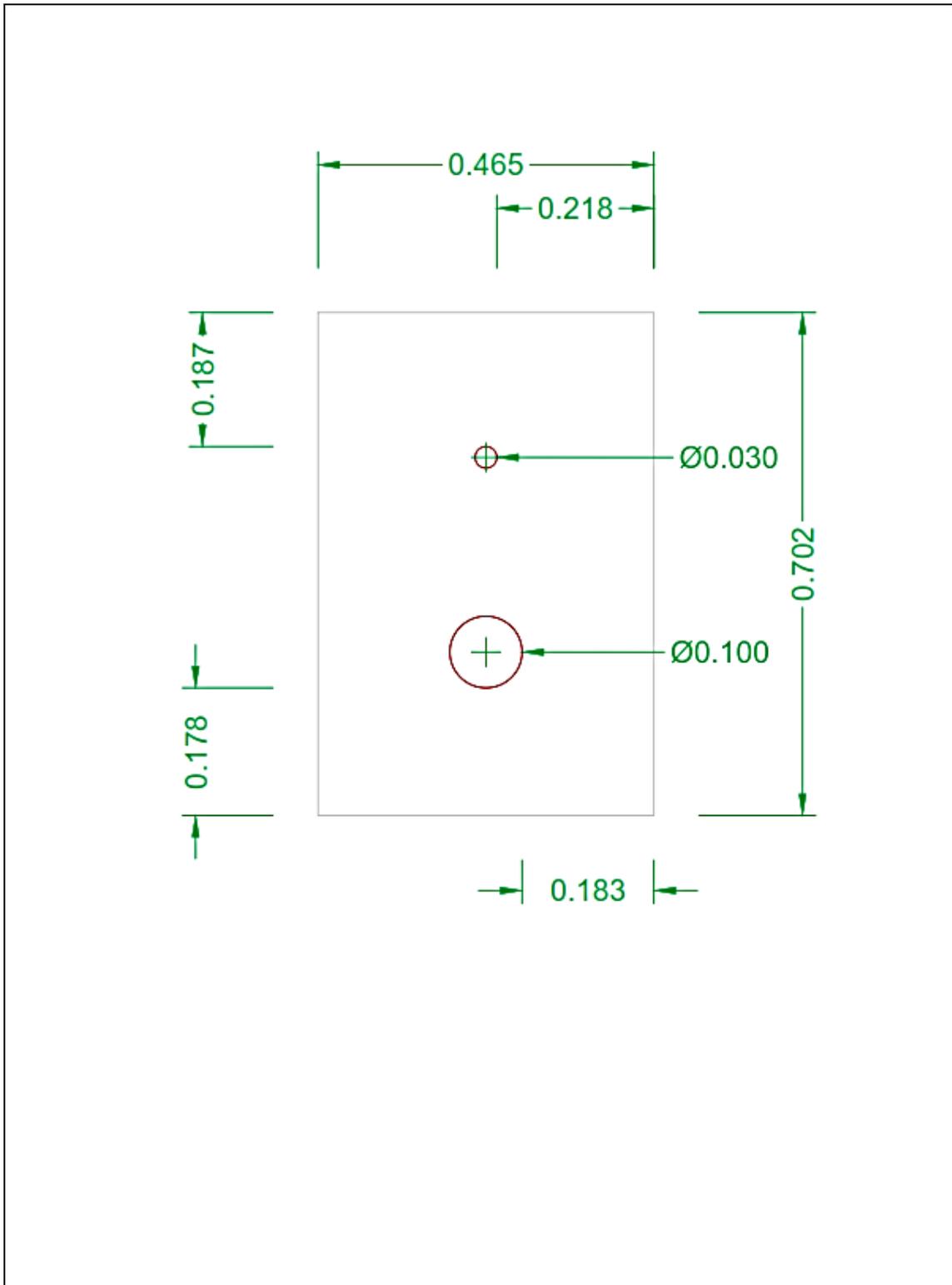
ANEXO O. PLANO DEL EQUIPO. VISTA SUPERIOR



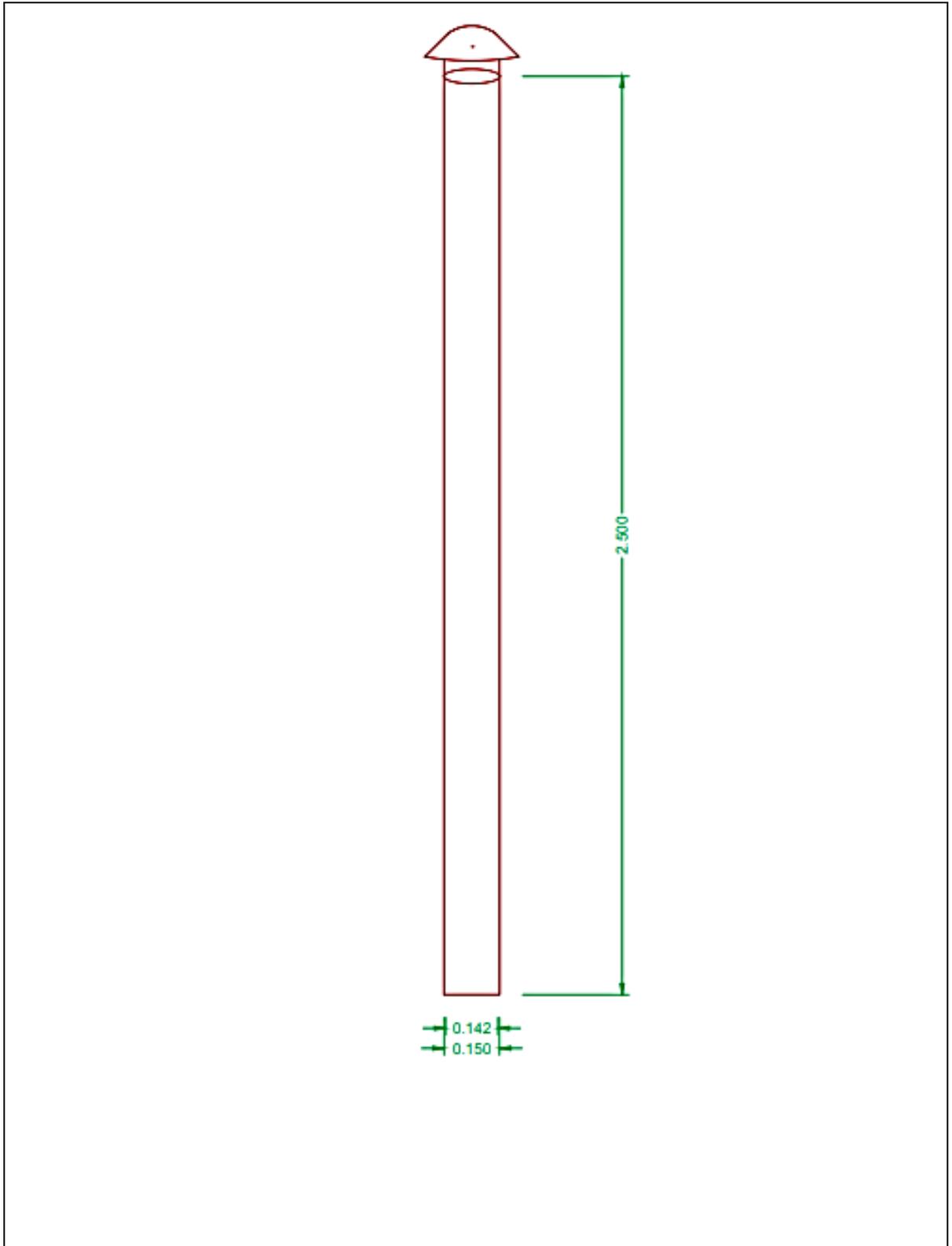
ANEXO P. PLANO DEL EQUIPO. VISTA LATERAL



ANEXO Q. PLANO EQUIPO, VISTA FRONTAL PUERTA



ANEXO R. PLANO EQUIPO. CHIMENEA



ANEXO S. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO





ANEXO T. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES AL AIRE

CONTAMINANTE EMITIDO	COMBUSTIBLE UTILIZADO	VALOR	UNIDADES ^[1]
Partículas Totales	Sólido	150	mg/Nm ³
	Líquido ^[2]	150	mg/Nm ³
	Gaseoso	No Aplicable	No Aplicable
Óxidos de Nitrógeno	Sólido	850	mg/Nm ³
	Líquido ^[2]	550	mg/Nm ³
	Gaseoso	400	mg/Nm ³
Dióxido de Azufre	Sólido	1 650	mg/Nm ³
	Líquido ^[2]	1 650	mg/Nm ³
	Gaseoso	No Aplicable	No Aplicable

Notas:

^[1] mg/Nm³: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales, de mil trece milibares de presión (1 013 mbar) y temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno.

^[2] combustibles líquidos comprenden los combustibles fósiles líquidos, tales como diesel, kerosene, búnker C, petróleo crudo, naftas.

ANEXO U. VALORES DE CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES COMUNES

--

CONTAMINANTE PERÍODO DE TIEMPO	Y	ALERTA	ALARMA	EMERGENCIA
Monóxido de Carbono Concentración promedio en ocho horas	en	15 000	30 000	40 000
Oxidantes Fotoquímicos, expresados como ozono. Concentración promedio en una hora	en	300	600	800
Óxidos de Nitrógeno, como NO ₂ Concentración promedio en una hora	en	1 200	2 300	3 000
Dióxido de Azufre Concentración promedio en veinticuatro horas	en	800	1 600	2 100
Material Particulado PM ₁₀ Concentración en veinticuatro horas		250	400	500

Nota:

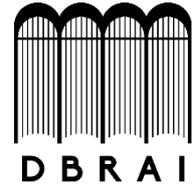
^[1] Todos los valores de concentración expresados en microgramos por metro cúbico de aire, a condiciones de 25 °C y 760 mm Hg.

ANEXO V. LÍMITES PERMISIBLES PARA EMISIONES DESDE INCINERADORES

CONTAMINANTE	UNIDAD⁽¹⁾	LIMITE DE EMISION
CO ^(c)	(mg/Nm ³)	87
HCl	(mg/Nm ³)	55
NOx ^(c)	(mg/Nm ³)	610
SO ₂ ^(c)	(mg/Nm ³)	109
Material Particulado ^(c)	(mg/Nm ³)	55
Arsénico, Selenio, Cobalto, Níquel, Telurio	(mg/Nm ³)	2 ⁽²⁾
Cadmio y Talio	(mg/Nm ³)	0,1 ⁽²⁾
Plomo, Antimonio, Cromo Total, Platino, Cobre, Vanadio, Zinc, Estaño, Manganeso, Paladio	mg/Nm ³)	3 ⁽²⁾
Mercurio	(mg/Nm ³)	0,1
Dioxinas y Furanos UTE ⁽³⁾	(ng/Nm ³)	11



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS PARA EL
APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 22 / 06 / 2020

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Mariela Isabel Guerrero Noboa Isaac Hernán Tene López
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Facultad de Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniero Químico
f. Analista de Biblioteca responsable: Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.



22-06-2020

0070-DBRAI-UPT-2020