FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

TESIS

DISEÑO DE UN HORNO CREMATORIO PARA EL MANEJO DE CADAVERES POR COVID-19 EN LA PROVINCIA DE CHICLAYO.

PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Autor:
Bach. Chapoñán Mondragón, Luis Miguel
Orcid : https://orcid.org/0000-0003-0526-2432

Asesor:
Mg. Alvarado Silva, Carlos Alexis
Orcid : https://orcid.org/0000-0002-3588-8869

Línea de Investigación:
Infraestructura, Ingeniería y Medio Ambiente

Pimentel – Perú
2020

“DISEÑO DE UN HORNO CREMATORIO PARA EL MANEJO DE CADAVERES POR COVID-19 EN LA PROVINCIA DE CHICLAYO.”

APROBACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN:

Mg. Silvia Yvone Gastiaburú Morales

Presidente del jurado de tesis

Mg. Juan Carlos Vives Garnique

Secretaria del jurado de tesis

MSc. Angel Marcelo Rojas Coronel

Vocal del jurado de tesis

Dedicatoria

Con mucho amor a Dios por brindarme salud y sabiduria para culminar esta etapa, a mi hermorsa familia, por tener grandes espectativas sobre mi, a mis padres por el esfuerzo que hicieron para ayudarme a convertirme en un profesional, por sus oraciones, enseñanzas, paciencia y amor, a mis hermanos por su apoyo, a mis hermanas por inspirarme a ser mejor cada día y alentarme en todo momento y a mis tíos; José Chapoñán y Llermé R. por ayudarme a retomar mi carrera y por enseñarme que en la vida todo requiere esfuerzo y dedicación.

Agradecimiento

Gracias a Dios por permitirme celebrar este logro junto a toda mi familia y seres queridos, a mis padres Ángel y Marina porque siempre confiaron en mi, por su paciencia y amor, a Hellen Chapoñan por creer siempre en mi, inspirarme a ser mejor y ayudarme en este proceso, a Estrella Chapoñan por su dedicación y consejos para no rendirme y de manera especial a mi tío José Chapoñan que siempre me inculco el valor del respeto, la resposabilidad y la perseverancia, hoy por hoy ya no esta en esta tierra pero no queria dejar pasar esta oportunidad para darle las gracias y brindar estas palabras de amor hasta el cielo. Lo mejor esta por venir. Gracias.

“DISEÑO DE UN HORNO CREMATORIO PARA EL MANEJO DE CADAVERES POR COVID-19 EN LA PROVINCIA DE CHICLAYO.”

" DESIGN OF A CREMATORY OVEN FOR THE MANAGEMENT OF CORPSES BY COVID-19 IN THE PROVINCE OF CHICLAYO."

Chapoñán Mondragón, Luis Miguel

Resumen:

En la actual investigación se estimará el diseño de un horno crematorio, considerando las principales especificaciones de los hornos existentes en el Perú y la alta demanda a causa de las muertes por la pandemia. Asimismo, se realizaron cálculos analíticos tomando en cuenta teorías científicas de transferencia de calor y mecánica de fluidos. Además, se ejecutará el diseño en 3D, simulación y ajuste de parámetros en el software de ingeniería SOLIDWORKS. Se realizó el diseño de un horno crematorio, puesto que debido a la coyuntura mundial por la pandemia, se requiere una mayor cantidad de cremaciones diarias, así como salvaguar la integridad de los operadores que están a cargo de dicha actividad. Por otro lado, se mejoró el proceso de cremación actual, en cuanto al tiempo, la emisión de gases tóxicos y el diseño. La finalidad es realizar el diseño de un horno crematorio para el manejo de cadaveres por Covid-19 en la provincia de Chiclayo. Determinando las dimenciones óptimas para el diseño del horno, evaluando la mejor configuración de desiño. Por otro lado, el diseño cuenta con dos cámaras de combustión, 1 intercambiador de calor y un sistema de purificación, que busca cumplir con las normas de emisiones de gases al medio ambiente.

Palabras clave: *Diseño, Mecánica de fluidos, Trasnferencia de calor, Solidwords.*

Abstract

The current investigation will estimate the design of a crematorium considering the main specifications of the existing furnaces in Peru and the high demand due to the deaths from the pandemic. Likewise, analytical calculations were made taking into account scientific theories of heat transfer and fluid mechanics. In addition, the 3D design, simulation and adjustment of parameters in the SOLIDWORKS engineering software will be executed.

The design of a crematory oven was carried out, since due to the world situation of the pandemic, a greater number of daily cremations is required. As well as safeguarding the integrity of the operators who are in charge of this activity. On the other hand, the current cremation process was improved in terms of time, emission of toxic gases and design.

The aim is to design a crematory oven for the handling of corpses by Covid-19 in the province of Chiclayo. Determining the optimal dimensions for the design of the furnace, evaluating the best configuration of design. Thus, the design has two combustion chambers, 1 heat exchanger and a purification system, which seeks to meet the standards of gas emissions into the environment.

Keywords: *Design, Fluid Mechanics, Heat Transfer, Solidwords.*

ÍNDICE

DEDICATORIA ..... **III**

AGRADECIMIENTO ..... **IV**

RESUMEN: ..... **V**

ABSTRACT ..... **VI**

I. INTRODUCCIÓN **15**

1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA 15

1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN 16

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 18

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA 18

1.4.1. Justificación ambiental 19

1.4.2. Justificación social 19

1.4.3. Justificación técnica 19

1.4.4. Justificación económica 19

1.5. HIPÓTESIS 20

1.6. OBJETIVOS 20

1.6.1. Objetivo General 20

1.6.2. Objetivos Específico 20

1.7. MARCO TEÓRICO 20

1.7.1. Capacidades especificas asociadas con la incineración del cuerpo humano 20

1.7.2. Transferencia de calor 21

FIGURA 1. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN 22

FIGURA 2. TRANSFERENCIA POR CONVECCIÓN 23

FIGURA 3. TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN 24

1.7.3. Resistencias térmicas 24

1.7.4. Intercambiadores de calor 26

TABLA 1. CUANDO EL FLUJO ESTA CRUZADO. 27

1.7.5. Regímenes de flujo 28

1.7.6. Caudal 29

1.7.7. Número de Reynolds 29

1.7.8 Pérdidas primarias en las tuberias 30

FIGURA 4. COEFICIENTES DE PERDIDAS SECUNDARIA EN LA TUBERÍA. 32

TEORIAS DE COMBUSTIÓN 32
1.7.9 Combustión..... 32
1.8. TIPOS DE COMBUSTIÓN 33
TABLA 2. TIPOS DE COMBUSTIBLE 33
1.9. HORNOS 34
1.9.1. Hornos eléctricos 34
1.9.2 Horno de combustión..... 35
1.9.3. Horno Crematorio..... 35
FIGURA 5. HORNO CREMATORIO 36
1.9.4. Proceso de Cremación..... 36
FIGURA 6. SISTEMA DE PURIFICACIÓN 37
1.9.5 Elementos de un Horno Crematorio: 37
1.10 ÁREAS DEL CICLÓN 38
1.10.1 Área del cilindro del ciclón 38
1.10.2 Área del cono del ciclón. 39
1.10.3 Área del cilindro menor de la salida del monóxido de carbono 39
1.10.4 Calculando el área rectangular del ciclón de la entrada del monóxido de carbono. . 39
1.10.5 Cálculo del área del cilindro en la parte de la salida del monóxido de carbono..... 40
1.11 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA POR CONDUCCIÓN 40
1.12 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA POR CONVECCIÓN 40
1.13 INTERCAMBIADOR DE CALOR A CONTRAFLUJO 42
1.13.1 Flujo másico:..... 42
1.14 MATERIAL DEL HORNO 43
TABLA 3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO ASTM A-36 44
TABLA 4. PRINCIPALES PROPIEDADES DEL ACERO ASTM A-36 44
II. MATERIALES Y PROCEDIMIENTO 46
2.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 46
2.2. VARIABLES Y FUNCIONABILIDAD DE VARIABLES..... 46
2.2.1. Variables..... 46
2.2.2. Operacionalización de la variables 47
TABLA 5. VARIABLES INDEPENDIENTES. 47
TABLA 6. VARIABLES DEPENDIENTES. 48
2.3 POBLACIÓN Y MUESTRA..... 49

2.4. METODOS Y DISPOSITIVOS PARA LA COPILACIÓN DE INFORMACIÓN. 49
2.4.1. Metodo de copilación de información. 49
2.4.2. Dispositivos para la recopilación de información 50
2.5 VALIDÉZ Y CONFIABLIDAD 50
2.6 SISTEMA PARA LA COPILACIÓN DE INFORMACIÓN 51
2.6.1 Esquema de secuencia de procedimientos. 51
FIGURA 7. FLUJO DE PROCESOS. 51
2.6.2 Explicación de los procedimientos 52
2.7. ASPECTOS ÉTICOS. 53
2.7.1 Código de Ética del Colegio de ingenieros (CIP). Aprobado en la III sesión ordinaria del congreso nacional de consejos departamentales del periodo 1998 – 1999 en la ciudad de Tacna 22, 23, 24 abril 1999. 53
2.7.2 Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS), Ratificado po acuerdo de consejo universitario con resolución rectoral N° 0851- 2017/USS 54
III. RESULTADOS 55
3.1 RECONOCIMIENTO DE NECESIDADES 55
TABLA 7. ESPECIFICACIONES DEL HORNO 55
TABLA 8. LISTA DE EXIGENCIAS 56
3.2. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DEL HORNO 57
3.2.1. Lista de exigencias 57
TABLA 9. LISTA DE EXIGENCIAS 57
3.2.2. Condiciones de Operación. 58
3.3 FUNCIONES DE CADA ESTRUCTURA. 58
FIGURA 8. SECUENCIA DE PROCESOS 59
3.3.2. Secuencia de operaciones para la cremación del cadáver con COVID-19. 59
3.3.3. Procediminetos técnicos para el diseño general. 60
FIGURA 9. ESTRUCTURA DE FUNCIONES 61
3.3.5. Elaboración de la Matriz Morfologica. 62
3.3.6 PROPUESTAS DE SOLUCIÓN. 63
3.4 ESTIMACIONES TÉCNICAS Y ECONÓMICAS DE LAS PROPUESTAS DE SOLUCIÓN. 64
TABLA 10. EVALUACIÓN TÉCNICA. 64
TABLA 11. ESTIMACIÓN ECONÓMICA. 65

3.5 DISEÑO Y CÁLCULOS FUNDAMENTALES. 65
3.5.1 Dimensiones de la primera cámara :..... 65
3.7 FLUJO MÁSICO DE LOS QUEMADORES 69
3.7.1 Determinación de transferencia de calor en el ataúd. 71
FIGURA 10. CAPAS DE MATERIALES DE LA PRIMERA CÁMARA 71
TABLA 12. ELEMENTOS Y MOLES 72
3.7.2 Circuito térmico de flujo de calor perdido..... 72
FIGURA 11. CONVECCIÓN DE PAREDES PLANAS. 76
TABLA 13. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA 77
3.8 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE LA FIBRA DE VIDRIO..... 79
3.9 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE LA PLANCHA DE ACERO A36. 79
3.10 DIMENSIONADO DE LA CÁMARA SECUNDARIA O CÁMARA DE POST COMBUSTIÓN. 80
FIGURA 12. DIMENSIONAMIENTO DE LA SEGUNDA CÁMARA 80
3.10.1 Cálculo de transferencia de calor en la segunda cámara. 81
TABLA 14. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA AIRE A UNA TEMPERATURA DE 1286° C 82
3.11 DETERMINACIÓN DE LA BOMBA DE AGUA. 84
FIGURA 13. BOMBA DE AGUA. 84
TABLA 15. PROFUNDIDADES MÍNIMAS. 85
TABLA 16. PERDIDAS SECUNDARIAS. 87
TABLA 17. COEFICIENTE DE RUGOSIDAD. 88
TABLA 18. DIAGRAMA DE MOODY 89
3.11.1 Análisis de la potencia de la bomba. 91
3.12 CÁLCULO DE INTERCAMBIADOR DE CALOR A CONTRAFLUJO 92
FIGURA 14. INTERCAMBIADOR DE CALOR. 93
TABLA 19. *PROPIEDADES DEL AIRE A UNA TEMPERATURA DE 697.9° C* 95
TABLA 20. FACTOR DE CORRECCIÓN 98
TABLA 21. NTU 99
3.13 DIMENSIONAMIENTO DEL CICLÓN. 100
FIGURA 15. DIMENSIONES DE CICLÓN 101
3.13.1 Área del Ciclón 101

TABLA 22. VALORES DEL MONÓXIDO DE CARBONO 103

3.13.2 Volumen del ciclón evaluado sobre la salida 104

3.13.3 Longitud normal del ciclón 104

3.13.4 Factores de dimensiones lineales 105

3.13.5 Factor volumétrico del ciclón. 105

3.13.6 Concordancia entre altura de entrada y el diámetro del ciclón:..... 106

3.13.7. Vinculación de la entrada y el diámetro del ciclón. 106

3.13.8 Tiempo de Relajación 107

3.13.9 Caída de Presión 107

FIGURA 16. DISEÑO DEL CICLÓN 108

3.13.10 Cálculo del ciclón..... 108

3.14 SIMULACIÓN DEL HORNO CREMATORIO. 111

FIGURA 17. MODELADO TRIDIMENSIONAL DEL HORNO CREMATORIO..... 112

FIGURA 18. NÚMERO DE TUBOS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR 112

3.14.1 Resultados de Análisis SolidWorks 113

FIGURA 19. RESULTADOS DE LA SIIMULACIÓN. 113

FIGURA 20. RESULTADO DE TEMPERATURA 114

FIGURA 21. TRAYECTORIA DEL FLUIDO 115

FIGURA 22. RETORNO DEL FLUIDO EN EL INTERCAMBIADOR DE CALOR 116

CONCLUSIONES 117

RECOMENDACIONES: 118

REFERENCIAS: 119

ANEXOS 121

PLANOS 125

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. CUANDO EL FLUJO ESTA CRUZADO. 27

TABLA 2. TIPOS DE COMBUSTIBLE 33

TABLA 3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO ASTM A-36 44

TABLA 4. PRINCIPALES PROPIEDADES DEL ACERO ASTM A-36 44

TABLA 5. VARIABLES INDEPENDIENTES. 47

TABLA 6. VARIABLES DEPENDIENTES. 48

TABLA 7. ESPECIFICACIONES DEL HORNO 55

TABLA 8. LISTA DE EXIGENCIAS 56

TABLA 9. LISTA DE EXIGENCIAS 57

TABLA 10. EVALUACIÓN TÉCNICA. 64

TABLA 11. ESTIMACIÓN ECONÓMICA. 65

TABLA 12. ELEMENTOS Y MOLES 72

TABLA 13. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA 77

TABLA 14. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA AIRE A UNA TEMPERATURA DE 1286° C 82

TABLA 15. PROFUNDIDADES MÍNIMAS. 85

TABLA 16. PERDIDAS SECUNDARIAS. 87

TABLA 17. COEFICIENTE DE RUGOSIDAD. 88

TABLA 18. DIAGRAMA DE MOODY 89

TABLA 19. *PROPIEDADES DEL AIRE A UNA TEMPERATURA DE 697.9° C* 95

TABLA 20. FACTOR DE CORRECCIÓN 98

TABLA 21. NTU 99

TABLA 22. VALORES DEL MONÓXIDO DE CARBONO 103

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN 22

FIGURA 2. TRANSFERENCIA POR CONVECCIÓN..... 23

FIGURA 3. TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN..... 24

FIGURA 4. COEFICIENTES DE PERDIDAS SECUNDARIA EN LA TUBERÍA. 32

FIGURA 5. HORNO CREMATORIO..... 36

FIGURA 6. SISTEMA DE PURIFICACIÓN 37

FIGURA 7. FLUJO DE PROCESOS. 51

FIGURA 8. SECUENCIA DE PROCESOS..... 59

FIGURA 9. ESTRUCTURA DE FUNCIONES 61

FIGURA 10. CAPAS DE MATERIALES DE LA PRIMERA CÁMARA..... 71

FIGURA 11. CONVECCIÓN DE PAREDES PLANAS..... 76

FIGURA 12. DIMENSIONAMIENTO DE LA SEGUNDA CÁMARA..... 80

FIGURA 13. BOMBA DE AGUA. 84

FIGURA 14. INTERCAMBIADOR DE CALOR. 93

FIGURA 15. DIMENSIONES DE CICLÓN 101

FIGURA 16. DISEÑO DEL CICLÓN 108

FIGURA 17. MODELADO TRIDIMENSIONAL DEL HORNO CREMATORIO 112

FIGURA 18. NÚMERO DE TUBOS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR 112

FIGURA 19. RESULTADOS DE LA SIIMULACIÓN. 113

FIGURA 20. RESULTADO DE TEMPERATURA..... 114

FIGURA 21. TRAYECTORIA DEL FLUIDO 115

FIGURA 22. RETORNO DEL FLUIDO EN EL INTERCAMBIADOR DE CALOR 116

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

En medio de la crisis que atraviesa la humanidad por la enfermedad que produce el virus llamado COVID-19, se han registrado a nivel mundial, índices por encima de los 11 millones de contagios y los decesos llegan al medio millón. Nuestro páis, es uno de los 10 más afectados a nivel global y el 2do en Latinomérica con un aproximado de 300 mil pacientes positivos y 11 mil fallecidos a causa del virus. Asimismo, se ha revelado una variedad de deficiencias y escases, entre las que se encuentra la falta de hornos crematorios aptos para los fallecidos por dicho virus en la capital y con una mayor cantidad de dificultad en la provincias. Como Chiclayo, que será sujeto de la siguiente investigación, puesto que es una de las principales provincias con mayores sumas de contagio, hasta la fecha se han reportado un aproximado de 14 mil casos positivos, mientras que se estiman 1,000 víctimas mortales. Mediante un comunicado, ratificó que los cuerpos deberán ser cremados para evitar la propagación del virus y corran riesgos de contagios por la manipulación de los cuerpos. No obstante, la cantidad de crematorios públicos en el país, no abastecerían la demanda de fallecidos por dicha enfermedad, por tanto, se haría imposible lograr cubrir con todos los requerimientos. Asimismo, se expuso que en Lima, existen solo 2 crematorios, los cuales estan sobre lo S/1700 soles el servicio individual, además de los cuatro servicios privados y los precios oscilan entre S/4,000 y S/5,000 nuevos soles en conjunto con el servicio funerario completo. Respecto a la provincia de Chiclayo, el escenario es aún más desolador ya que solo existe un horno crematorio público, no dándose abasto para la cremación de los cuerpos que día a día incrementan, además no cuentan con los requerimientos estipulados para tratar con los cadáveres. Cabe resaltar que los cremadores privados, que no llegan a 3 en la provincia, han decidido cerrar sus instalaciones por no contar con las normas especificadas, su seguridad personal y la falta de implementos necesarios para realizar dicha actividad. Por tanto, se considera importante atender dicha problemática, puesto que se ha evidenciado el alto índice de mortandad a causa de esta enfermedad en la provincia y los contagios han seguido aumentando. Además, los costos solo en Lima son bastante altos y en provincia la situación es similar, siendo más preocupante, porque en la mayoría de regiones la existencia de los hornos

crematorios es nula. Asimismo, la contaminación ambiental es un problema recurrente a través de los años y en mayor consideración a la hora de las cremaciones, por la emisión de altos gases tóxicos. (García Fierro, 2019).

Cuando se realiza la cremación existe un rango de contaminación de CO2 de aproximadamente 4.6 kilogramos, tomando énfasis en la acumulación de los gases emitidos al momento de la cremación, ya que estos hornos trabajan por encima de los 850 °C. (García Fierro, 2019).

Por ello, se busca minimizar la contaminación que los gases del mismo cuerpo producen al ser incinerados y a su vez por parte de la emisión con respecto al combustible y gases utilizados en dicha actividad: óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y CO2. Siendo perjudiciales para la salud del ser humano, nada amigables para el medio ambiente y su sostenibilidad. En búsqueda de soluciones para esta problemática, se plantea el "Diseño de un horno crematorio para el manejo de cadáveres por el COVID-19 en la provincia de Chiclayo"

1.2. Antecedentes de la investigación

ANTECEDENTES

A Nivel Internacional

1. (Ferrín Romero, 2019) Esta investigación está enfocada en el diseño y construcción de un prototipo de horno de doble cámara (glp) que permita quemar desperdicios y residuos del uso en los hospitales, consideraron varias alternativas de ensayo y optaron por usar la más conveniente, la cual está compuesta por dos cámaras de incineración. En la primera cámara la incineración de desechos sólidos como tales y en la segunda cámara la eliminación de los gases contaminantes, cabe recalcar que las caramas son pre calentadas a una temperatura de 600 °C y posteriormente se ingresan los desechos sólidos hospitalarios. Según la tesis, en síntesis, se mencionó que el diseño de este horno permitirá exponer a los desechos a altas temperaturas superiores a 1100 ºC, permitiendo eliminar microorganismos que sean perjudiciales para la salud humana y su vez al medio ambiente. Finalmente Concluyo que la implementación de dos cámaras de combustión es óptima para la eliminación de

gases contaminantes, ya que esto es vital importancia para la eficiencia del proceso.

2. (Ortiz Libreros, 2019). La cremación de seres humanos ha incrementado su servicio, alcanzando mayor demanda, siendo una opción viable por la falta de espacios para la construcción de cementerios. Sin embargo, se consideró los problemas de esta alternativa y se encontró, la difusión de gases tóxicos que afectan al medio ambiente, por consiguiente, la salud de las personas. Por ello, el objetivo es localizar el horno crematorio en una zona poco riesgosa y urbana. Tomando en cuenta los informes, se llevó a cabo un simulacro de emisio reòn de gases contaminantes. Finalmente, se concluye realizar una prueba de la necesidad con gran énfasis en las fuentes estudiadas.

3. (Gómez Díaz, 2015). En su investigación de ¨Diseño e instalación de un horno crematorio en una nave industrial¨. Se realizo varios ensayos con diferentes tipos de materiales que sean capaces de soportar el proceso de funcionamiento. Tuvo como problema la forma y los insumos óptimos para resistir altas temperaturas así como la generación de energía. Cuyo objetivo es estudiar el combustible más óptimo para realizar el trabajo, además se diseña el equipo para la instalación. Finalmente, la tesis concluye que la estructura del horno sean óptimos y resistentes y con la capacidad de aislar la temperatura interna del horno, de tal forma que la integridad de la estructura no sea dañada. Lo relevante en esta investigación es tener la selección de materiales óptimos para la construcción del horno, hace que sea competitivo en el mercado y se comporte bien con el medio ambiente.

4. **(**Johan Rendón, 2015). En esta investigación se realizó un análisis de los hornos crematorios, indicando el porcentaje energético del consumo durante la cremación. Resolviendo el porcentaje de energía que se pierde y de tal forma proponer nuevas opciones para incrementar la eficacia. También implementaron auditorías energéticas. Concluyendo que es necesario para la eficiencia, el diseño del interior del horno, tomando en cuenta el estudio de aislamiento térmico adecuado para no perder temperatura en el proceso.

A Nivel Nacional

1. (Castro Nerón Frank, 2018). Es su investigación titulada "Análisis energético para el diseño de un horno incinerador sobre los 1200 grados Celsius". Refiere que como finalidad se va a investigar el recurso energético más óptimo para el proyecto de un horno cremador que logre alcanzar temperaturas mayor a los 1150°C. Analizando así combustibles de rangos altos y bajos. En el trayecto de la investigación optaron por descartar el petróleo, ya que es un combustible de grado alto en contaminación para la realización requerida, también no se tomó en cuenta el GN por ser un combustible poco emisivo y no se recomendó para hornos incineradores. Concluyendo que la energía eléctrica es más óptima que algunos energéticos primarios ya mencionados, contribuyendo con el desarrollo y la eficiencia del horno.

1.3. Formulación del problema

¿Cuáles serán las configuraciones de diseño, materiales y componentes para el dimensionamiento de un horno crematorio para el manejo de cadáveres por COVID-19 en la provincia de Chiclayo?

- **Delimitación del problema.**

En la siguiente investigación se estudiará el diseño de un horno crematorio para cadáveres con COVID19 en la provincia de Chiclayo, apoyándose en las exigencias del Minsa. Realizando cálculos analíticos, diseño y simulación, utilizando un software de ingeniería (SOLIDWORKS), además de determinar la viabilidad de los elementos, componentes y materiales para el diseño del horno.

1.4. Justificación e importancia

La humanidad ha sido golpeada por una pandemia que se ha expandido a pasos agigantados, colapsando una gran cantidad de sistemas de salud a nivel global y nuestro país

es uno de los más afectados por el virus, con una gran cantidad de contagios y muertes. Siendo, Lambayeque uno de los departamentos con mayor índice de mortandad, por ende, los servicios funerarios no son ajenos a tal circunstancia, encontrándose en la misma o peor situación, ya que la mejor alternativa médica para los fallecidos por el COVID-19 es la de incinerarlos y que no incrementen los casos positivos. Sin embargo, dicha medida ha sido imposible de cumplirse, por la escasez de hornos crematorios que sean aptos, cumplan con todos los requerimientos solicitados por el Ministerio de salud (Minsa) para un correcto proceso y funcionamiento; y además lograr disminuir los gases tóxicos que son perjudiciales para el medio ambiente.

1.4.1. Justificación ambiental

Se proyecta que el diseño del horno crematorio sea amigable con el ambiente. Ya que este contara con dos cámaras principales, una chimenea de emisión de gases y un sistema de filtración. A partir de la segunda cámara (post combustión) es donde se depuran los gases generados por la incineración del cuerpo. Posteriormente, antes de sean expulsados a la atmosfera, pasarían por el sistema de filtración.

1.4.2. Justificación social

Con la introducción del diseño del horno crematorio, se permitirá brindar mejores condiciones de trabajo y seguridad a los colaboradores que son parte del proceso de la cremación de los cadáveres con COVID-19, reduciendo las posibilidades de contagio y contaminación. Además, el implemento de la tecnología en el diseñó de los hornos como factor principal para la disminución de los gases, impacta positivamente en la sociedad.

1.4.3. Justificación técnica

Este proyecto permitirá impulsar la eficacia y nuevas herramientas tecnológicas para el proceso de cremación de las víctimas mortales por el COVID-19 en la región de Lambayeque, evitando contagios y contaminación medio ambiental.

1.4.4. Justificación económica

A comparación con otros hornos crematorios que se encuentran en el mercado esta investigación buscará beneficiar de manera económica a los interesados, considerando el combustible a implementar, que sea eficiente y económico. Asimismo, se enfocará en el diseño del horno, utilizando menos material para lograr aislar de manera óptima el calor y temperatura en el núcleo del horno.

1.5. Hipótesis

No aplica

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Diseñar un horno crematorio para el manejo de cadáveres con COVID-19 en la provincia de Chiclayo.

1.6.2. Objetivos Específico

- Establecer las dimensiones optimas para el diseño del horno.
- Evaluar las posibles configuraciones de diseño del horno, escoger cual es la mejor.
- Cálculos para el estudio de factibilidad técnica.
- Análisis de factibilidad económica
- Simulación en el software, SOLIDWORKS

1.7. Marco teórico

TEORÍAS ASOCIADAS AL TEMA

1.7.1. Capacidades especificas asociadas con la incineración del cuerpo humano

Para llevar a cabo el proceso de incineración de un cuerpo humano es necesario que los hornos sean pre calentados, ya que se debe preparar la cámara de combustión a unos 650 °C aproximadamente con un aporte de oxigeno superior al 6 %, para que se oxiden los gases

contaminantes que cualquier tipo de combustión produce. El calor maximo en el interior de un horno puede alcanzar los 800°C y 1150°C. Ya que con esta temperatura se logra que la mayoria del cuerpo sea vaporizado, esencialmente partes más blandas. Sin embargo, esto no sucede con los huesos, porque para poder vaporizar estos es necesario temperaturas mayores, esto implica poner en riesgo la integridad de los materiales del horno. Además se requiere que el horno trabaje con un calor estable de aproximadamente 900ºC. Asimismo el proceso dura entre una a dos horas, estos valores pueden variar de acuerdo a las dimensiones del cuerpo humano.

TEORIA RELACIONADA A TRANSFERENCIA DE CALOR

1.7.2. Transferencia de calor

Durante la incineración del cuerpo humano se produce la transferencia de calor, esto es esencial, el calor fluye o se transporta de una zona de alta temperatura a una baja. Cuando se encuentra un gradiente de temperatura en un sistema o cuando se encuentran dos sistemas con calores diferentes, se transmite energía. *(Principios de trasferencia de calor, Frank Kreith, Mark S.)* En este caso, la trasferencia de calor para un horno crematorio se realiza en el núcleo, que se encuentra a altas temperaturas hacia el exterior que se puede encontrar a temperatura ambiente. Entonces, se desarrollarán los tres modos de transferencia de calor; conducción, convección y radiación. *(Adrian Gomez, 2015)*

- **Conducción**

Se considera como una trasferencia de particulas energéticas que se manifiesta de menor a mayor, a causa de la relaciónn entre las mismas. Existe conducción en las paredes internas del horno hacia la parte externa, cabe resaltar que en la prima hay más temperatura que en la última, figura 1.

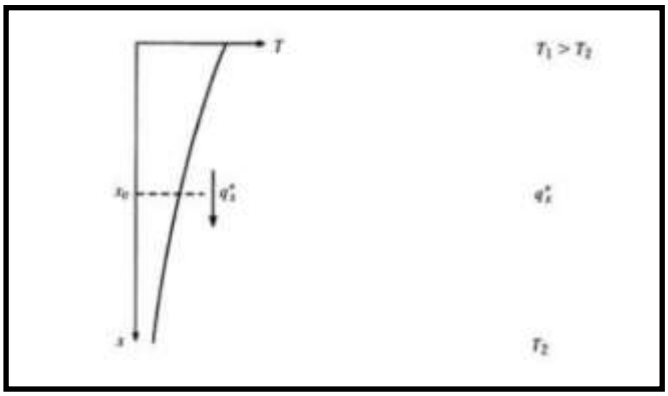


Figura 1. *Transferencia de calor por conducción*

Fuente: (Frank P, 2015)

A causa de estas características existe calor en las paredes del horno que se pueden analizar por "la ley de fourier"; ya que menciona que el flujo de calor por unidad de área es una distribución lineal y es proporcional al gradiente de temperatura.

$$q = -k \text{ x } \left(\frac{T_2 - T_1}{L}\right)$$

Ecuación 1. *Transf. Por conducción.*

Donde:

q: flujo de calor (W/m^2).

K: la conductividad térmica

T_1 - T_2 simbolizan temperatura interna y externa sucesivamente

L: longitud o espesor del muro en metros

K es negativo cuando la temperatura es descendente

- **Convección**

Se constituye por medio de dos procesos, siendo el primero por la materia en sus diferentes estados y la segunda por causa del movimiento forzado que pudiese existir entre las particulas, logrando que el calor se desplace de un área fría hacia una caliente, figura 2.

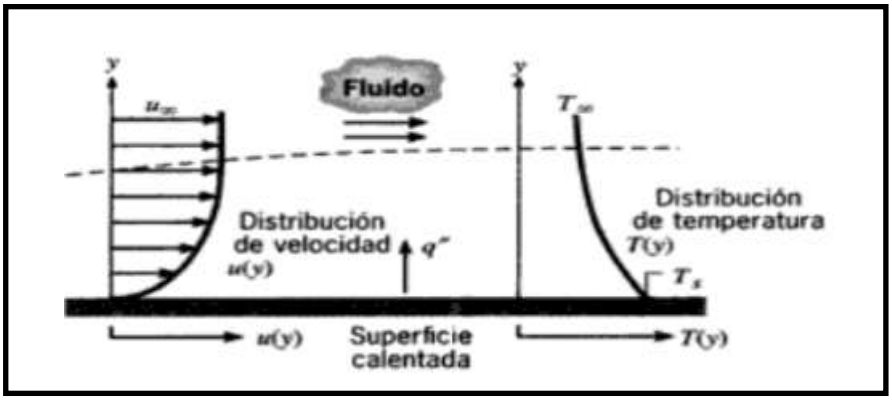


Figura 2. *Transferencia por convección*

Fuente: Fundamentos de transferencias de calor, Frank P, 2015

La simbología de la formula de la transferencia de calor por convección:

$$q = h\ x\ (T_s - T_{inf})$$

$$\boldsymbol{Ecuacion\ 2}, Transferencia\ de\ calor\ por\ convección$$

q: flujo de calor (W/m^2).

$T_s - T_{inf}$: temperaturas en K de la superficie y del fluido.

h: coeficiente de transferencia de calor por convección (W/m^2)

- **Radiación**

Es conocida como el poder calorífico que emite la materia que se encuentra en una temperatura finita, esta energía toma lugar como ondas electromagnéticas, sin la necesidad de algún tipo de contacto material, figura 3.

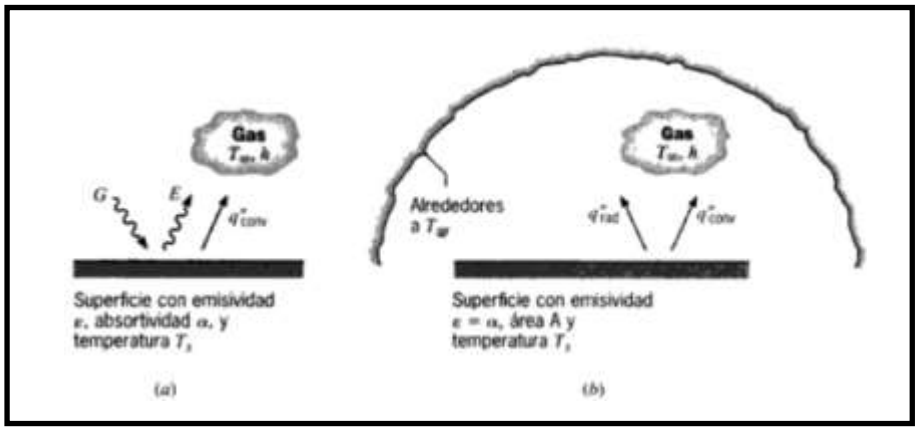


Figura 3. *Transferencia de calor por radiación*

Fuente: Fundamentos de transferencias de calor, Frank P, 2015

Ley de Stefan-Boltzmann:

$$E = \sigma \; x \; T_S^4$$

$$\boldsymbol{Ecuación\ 3}.\ Transferencia\ de\ calor\ por\ radiación$$

E: potencia emisiva superficial (W/m^2).

σ: constante de Stefan – Boltzmann, de valor 5,67 x 10^{-8} W/m^2 K^4.

T_S: temperatura en K de la superficie emisora.

1.7.3. Resistencias térmicas

Convección térmica

En este procedimiento toma lugar un líquido o gas en constante traslación que traslada energía térmica entre dos sectores.

Resistencia térmica por convección:

$$R_{t,con} = \frac{1}{h\,A}$$

Ecuación 4. *Convección térmica*

$R_{t,conv}$: Resistencia térmica

h_1: Coeficiente de convección ($\frac{W}{m^2\,°C}$)

A_1: Área de transferencia de calor (m^2)

Condución térmica

Se manifiesta cuando existe transferencia de calor entre dos zonas de un cuerpo que estan a distintas temperaturas, sin que haya ningún tipo de contacto entre las mismas.

Resistencia térmica:

$$R_{t,cond} = \frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{2\pi kL}$$

Ecuación 5. *Conducción térmica.*

$R_{t,cond}$: Resistencia térmica del cilindro ($\frac{°C}{W}$)

r_1: Radio interior del cilindro (m)

r_2: Radio exterior del cilindro (m).

k: Conductividad térmica para acero inoxidable ($\frac{W}{m^2\,°C}$)

L: Longitud (m)

Sistema térmico de calor perdido

El sistema de resistencias se encuentra en serie y la suma de todas estas será la suma total:

$$R_{Total} = R_1 \dots \dots + R_n$$

Ecuación 6. *Flujo de calor perdido.*

R_1: Resistencia térmica $(\frac{°C}{W})$

R_{Total}: Resistencia total $(\frac{°C}{W})$

Perdida de calor

$$Q_{perdido} = \frac{\Delta T}{R_T} = \frac{(T_i - T_0)}{R_T}$$

Ecuación 7. *Pérdida de calor.*

$Q_{perdido}$: calor perdido en el sistema (w)

T_i: Temperatura 1 (°C)

T_0: Temperatura 0 (°C)

R_T: Resistencia total $(\frac{°C}{W})$

1.7.4. Intercambiadores de calor

USO DE UN FACTOR DE CORRECCIÓN

La diferencia de temperatura logarítima se restringe a los intercambiadores de flujo paralelo o contraflujo. Además, las interacciones para los intercambiadores de calor de flujo cruzado y coraza de pasos múltiples.

$$\Delta T_1 = T_{h,ent} - T_{c,sal}$$

Ecuación 8. *Diferencia media logaritmica de temperatura.*

ΔT_1: Diferencia temperatura de las tuberías y de coraza en la parte inferior

$T_{h,ent}$: Temperatura caliente de entrada del fluido

$T_{c,sal}$: Temperatura de entrada a temperatura ambiente.

$$\Delta T_2 = T_{h,sal} - T_{c,ent}$$

Ecuación 9. *Diferencia media logarÍtmica de temperatura.*

Suma de diferencia de temperaturas de las tuberías

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 - \Delta T_2)}$$

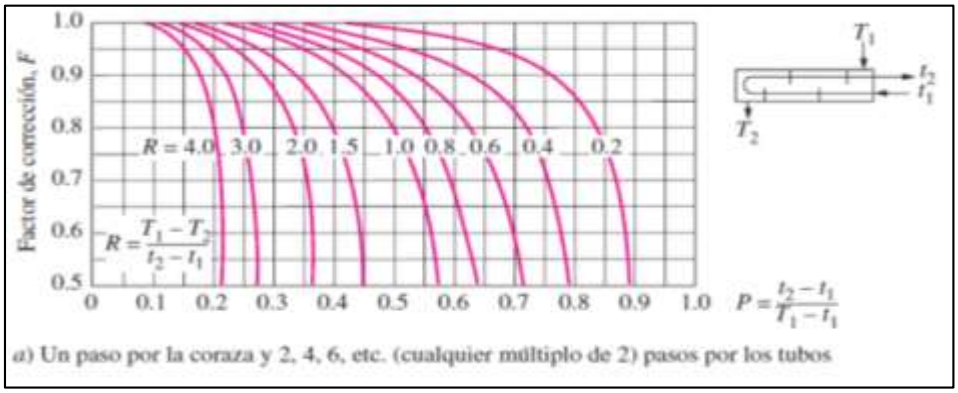
Ecuación 10. *Temperatura en tuberias*

El componente de corrección ¨F¨ para las conformaciones comúnes de los intercambiadores de flujo cruzado de casco y tubos en función de las viarante P y R son dos temperaturas, que se definen de la siguiente forma:

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \qquad R = \frac{T_2 - T_1}{t_2 - t_1}$$

Ecuación 11-12. *Flujo cruzado*

Tabla 1. Cuando el flujo esta cruzado.



Fuente: Transferencia de calor - Cengel (2004)

TEORÍAS RELACIONADA A MECÁNICA DE FLUIDOS

En el diseño del horno, se tendrá que hacer un análisis de las teorías de mecánica de fluidos, como análisis flujo, regímenes de flujo, dimensionamiento de una bomba, caudal, numero de reynolds y pérdidas en tuberias.

1.7.5. Regímenes de flujo

Cuando un fluido o un gas se está moviendo de un lugar a otro, este lo hace de diversas maneras. Si el flujo es pasivo,ordenado y puede moverse por laminas o superficies se le conoce como flujo laminar. Por otro lado si, el fluido es antagónico y desordenado, este será un flujo turbulento. Cuando el fluido está en un punto medio se dice que es un flujo de transición.

¿De qué depende que un fluido se mueva de una manera u otra? Esto es por la fuerza de inercia que son las que activan al fluido para transferirse de un lugar a otro y las fuerzas más densas que son las que lo retienen o las que intentan impedir que se mueva. Esta relación la podemos expresar como número de Reynolds. (R. Salcedo, 2015)

El número de Reynolds nos da la clasificación de flujos mediante intervalos.

Re < 2000 = Flujo laminar

2000 < Re < 40,000 = Flujo en transición

Re > 40,000 = Flujo turbulento

$$Re = \frac{Fuerzas\ de\ inercia}{Fuerzas\ viscosas} = \frac{VL_c}{\vartheta} = \frac{\rho V L_C}{\mu}$$

Ecuación 13. *Reynolds*

V : Velocidad fluido.

L_c : Longitud característica (m)

ϑ : Es la viscosidad cinemática del fluido (Pas)

ρ : Es la densidad del flujo (Kg/m^3)

μ : Es la viscosidad dinámica del fluido (m^2/s)

1.7.6. Caudal

Es la cantidad de fluido que viaja o se mueve por la sección de un ducto y tambien a que velocidad lo hace. Mayormete lo concemos como flujo volumétrico. (R.Salcedo, 2015).

$$Q=\frac{v\ \pi\ D^2}{4}$$

Ecuación 14. *Caudal.*

Donde:

Q: Caudal del aire ($\frac{m^3}{h}$)

v : Velocidad (m/s)

D: Diámetro de la tubería (m)

1.7.7. Número de Reynolds

Analizamos los parámetos de flujo de los fluidos, se administra un marcador hacia un líquido que viaja por un a tuberia a velocidades minimas. El marcador se mueve linealmente en la dirección axial. (R. Salcedo, 2015)

Estos flujos dependen de cuanta relacion existe entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas.

$$R_e = \frac{v_s\ D}{v}$$

Ecuación 15. *Número de Reynolds.*

V= viscosidad cinética (m^2/s)

D: diámetro (m)

Q: Caudal del aire ($\frac{m^3}{h}$)

Régimen laminar, se pueden hacer cálculos en los esfuerzos cortantes de forma analitica dependiendo de como se distribuye la velocidad para cada sector. Obtenemos un regimen laminar, cuando Re > 2000. (R. Salcedo, 2015)

$$h_{pl} = \frac{32\ \mu\ L\ v}{\rho\ g\ D^2} = \frac{128\ \mu\ L}{\rho\ g\ \ \pi\ D^4}\ Q$$

Ecuación 16. *Regímen laminar.*

En un régimen turbulento, podemos comfirmar que los esfuerzos cortantes con la velocidad trabajan uno en funcion del otro y es casi cuadratica. En este sentido obtenemos un regimen turbulento cuando Re > 4000. (R. Salcedo, 2015).

$$hf_p = f\frac{L\ V^2}{2g\ \ D}$$

Ecuación 17. *Regimen turbulente.*

1.7.8 Pérdidas primarias en las tuberias

Cuando existen tensiones desnsas creadas por una relacion entre un fluido y las paredes de una tubería, estas producen pérdidas lineales. (Cengel, 2004)

- **Pérdidas por Accesorios:**
  Se dan cuando el recorrido del flujo está impedido de seguir su camino, así como ocurre con una llave o válvula. Se pierde energia. (Cengel, 2004)

- **Coeficiente de Resistencia:**

La energía se perderá de acuerdo a que tan rapido viaja el fluido a través de un accesorio o de algún codo. Esto basicamente se expresa como coeficiente de resistencia K . (Cengel, 2004).

$$hf_s = D\frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 18. *Perdida de enérgia.*

Por otro lado tambien podemos utilizar una expasion súbita analizando el valor en esta ecuación:

$$C = (1 - (\frac{D_1}{D_2})^2)^2$$

Ecuación 19. *Coeficiente de perdidas.*

C: Coeficiente de pérdidas

D_1: Diámetro de la tubería menor

D_2: Diámetro de la tubería mayor

Cuando la tuberia pasa directamente a un tanque, la velocidad de perdida es baja.

$$h_L = 0.1x\ \frac{v^2}{2g}$$

Ecuacion 20. *Pérdidas menores.*

a. TUBOS ACODADOS	
Regular de 90°, embridado	0.3
Regular de 90°, roscado	1.5
De 90° con gran radio, embridado	0.2
De 90° con gran radio, roscado	0.7
De 45° con gran radio, embridado	0.2
Regular de 45°, roscado	0.4
b. CODOS DE 180°	
Codo de 180°, embridado	0.2
Codo de 180°, roscado	1.5
c. CONEXIONES EN T	
Flujo de línea, embridado	0.2
Flujo de línea, roscado	0.9
Flujo derivado, embridado	1.0
Flujo derivado, roscado	2.0
d. UNION ROSCADA	0.08
e. VALVULAS	
De globo, completamente abierta	18
De ángulo, completamente abierta	2
De compuerta, completamente abierta	0,15
De compuerta, 1/4 cerrada	0,26
De compuerta, 1/2 cerrada	2,1
De compuerta, 3/4 cerrada	17
De retención a bisagra, flujo hacia adelante	2
De retención a bisagra, flujo hacia atrás	infinito
De bola, completamene abierta	0,05
De bola, 1/3 cerrada	5,5
De bola, 2/3 cerrada	2,15

Figura 4. *Coeficientes de perdidas secundaria en la tubería.*

Fuente Anónimo, 2013.

TEORIAS DE COMBUSTIÓN

1.7.9 Combustión

Es una respuesta química respectivamente veloz y exotérmica, desenvolviendose desde una etapa heterogénea o gaseosa. No tomando en cuenta la participación del oxígenno. También podemos definirla como un tipo de oxidación que se llevca a cabo de manera rapida, utilizando elementos combinados llamados, combustibles.

Comprenden estas reacciones:

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2 + 33875 \text{ kJ / kg C}$$
$$H_2 + 1/2\, O_2 \longrightarrow H_2O + 143\,330 \text{ kJ / kg O}$$
$$2\, S + O_2 \longrightarrow SO_2 + 8958 \text{ kJ / kg S}$$

- **Procesos de combustión**

Son tres los procesos de combustión:

- En esta etapa los hidrocarburos llegarán a ser descompuestos y asi ser estimulados con el oxígeno, estableciendo mezclas variables.
- En esta parte se alimentará de más temperatura o calor y se le denomina oxídación.
- Por ultimo finalizará el proceso de oxídación y se agruparan formas equilibradas, estos serán elementos de los gases de combustión.

1.8. Tipos de combustión

Se pueden distinguir tres:

- **Combustión completa:** Cuando los elementos se descomponen por completo dando lugar al CO2, H2O y en algunos caso azufre.Ya que en este proceso no tiene nada que ver cuando aire se esta empleando, es cuestion de que exista un minima cantidad de oxígeno.

- **Combustión estequiométria:** Es una reación donde se emplea una cantidad exacta y especifica de aire alcanzadas por las molesculas que participanen la reacción. Se le llama combustión completa.

- **Combustión incompleta:** En este tipo de combustión tenemos compuestos de los gases que ya están parcialmente oxidados. *(Frank Castro, 2018)*

Tabla 2. Tipos de combustible

NATURALES	ARTIFICIALES
SÓLIDOS:	
Madera	Coque

Turba **Carbón Mineral** **Biomasa**	Carbón vegetal
LÍQUIDOS:	
Petróleo	Fracciones de Petróleo Alquitrán Aceites vegetales y animales
GASEOSOS:	
Gas natural de petróleo **Gas de pantano, biomasas (CH4)**	Gas de aire y gas azul Gas carburado Gas licuado

Fuente Creación propia

1.9. Hornos

TIPOS DE HORNOS

1.9.1. Hornos eléctricos

Los hornos eléctricos tienen algunas ventajas evidentes y no son contaminantes. Una de las causas por las cuales no contaminan es porqué no emiten humo, ya que la energía eléctrica no es un combustible propiamente dicho.

- **Hornos de resistencia**
- Se transfiere corriente elécrica a través de conductores que son compatibles con la resistencia.
- **Horno de inducción**

Forma parte esencial de un horno por calefacción y resistencia. Para estos procesos la resistencia trabaja como carga, este es inducido por eléctricidad.

1.9.2 Horno de combustión

En un ambiente totalmente cerrado se producirá calor a través de un proceso llamado oxidación de un combustible, en pocas palabras este convierte la energía química en calor elevando la temperatura de los elementos que están en su interior.Es aquel que transforma la energía química de un combustible en calor, para aumentar la temperatura de los materiales colocados en su interior.

- **Primera y segunda cámara**: Es exactamente donde se encuentran los quemadores, uno para cada cámara.
- **Aislador**: Es el que cubre en su mayoria todo el horno, internamente y externamente.
- **Chimenea**: En su mayoría suelen ser adaptados a los intercambiadores de calor para algun tipo de mejora en la energía.

1.9.3. Horno Crematorio

Aunque la instalación del horno crematorio depende del fabricante, pueden presentar pequeñas diferencias de funcionamientos, pero todos ellos disponen de una estructura base. Dos cámaras principales y una chimenea de emisión de gases.

- **La primera cámara:** Se lleva a cabo la cremación del arca(féretro) y del cuerpo.
- **La cámara de postcombustión:** Es donde se depuran los gases generados por la primera cámara, para cumplir con la norma de emisión de sostenibilidad del medio ambiente.

Figura 5. *Horno crematorio*

Fuente: Panasef Asociación Nacional Servicios Funerarios, 2018.

1.9.4. Proceso de Cremación

El proceso de cremación se inicia precalentando ambas cámaras a una temperatura de unos 850°C con un aporte constante de oxigeno superior al 6 %, para que se oxiden los gases contaminantes que cualquier tipo de combustión produce. Una vez alcanzados los 850°C en féretro y este se introduce en el horno. En la cámara de combustión el féretro y el cuerpo se van convirtiendo en cenizas y los gases generados pasan a la cámara superior de postcombustión.

En la postcombustión del conocido modelo de las 3T, Mejor cuando mayor tiempo residan los gases en la cámara, mejor cuanto mayor temperatura este y mejor si existen turbulencias que muevan los gases a lo largo de la cámara. Una vez depurados los gases salen a la atmosfera por la chimenea. En algunas ocasiones por circunstancias de localización, por temas medioambientales y porque se quiere alcanzar la excelencia medioambiental, los hornos pueden disponer de un sistema de filtración adicional que trata los gases una vez que estos salen de la cámara de postcombustión y antes de ser emitidos a la atmosfera. Estos pasan por 3 nuevos módulos. Un refrigerador, un inyector de partículas y un filtro, con una funcionalidad diferente.

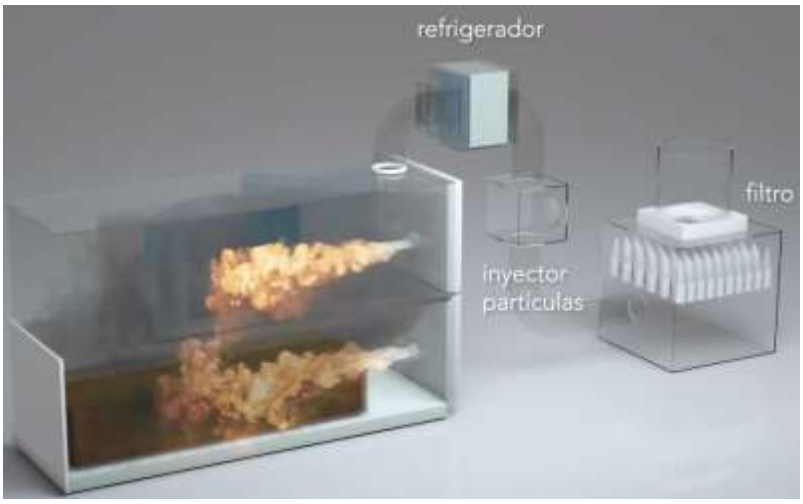


Figura 6. *Sistema de purificación*

Fuente: Panasef Asociación Nacional Servicios Funerarios, 2018

- **Refrigerador:** Consiste en enfriar el flujo de gases de la postcombustión a 850°C hasta alcanzar una temperatura que oscila entre150°C y 250°C. Para ellos pasan por un refrigerador con finas paredes planas que maximizan el contacto indirecto de los gases con el líquido refrigerante que los rodea.
- **Inyector de partículas:** Despúes se introducirán en los gass incinerados componentes de purificación que ayudarán a limpiar estas particulas residuales.
- **Filtro:** Finalmente, el caudal de gases pasará por filtros que atraparán mas particulas residuales que previamente se han impregnado de los componentes potencialmente contaminantes, lo que permite que el gas que sale a la atmosfera sea lo más depurado posible y siendo su impacto absolutamente residual para el medio ambiente.

1.9.5 Elementos de un Horno Crematorio:

- **Cámara de cremación:** de forma cilíndrica y fabricada en acero, en su interior tiene un revestimiento con materiales que resisten altas temperaturas. El refractario es fabricado de hormigón grueso capaz de soportar 1400° C. Este material es de fácil limpieza y se precalienta rápidamente.

- **Reactor térmico:** Es el lugar donde los gases de la cámara de cremación se oxidan y es fabricado con chapa acerado con un grosor de 6mm. Además, cuenta con una capa cuya función es aislante, el reactor recibe aire para que inicie el proceso de oxidación a través de inyectores. Disponemos de quemadores presurizados ideales para el horno crematorio. La longitud del reactor térmico es de 4.000 mm.
- **Chimenea:** También son de acero inoxidable, tienen forma cilíndrica y el revestimiento es de hormigón.
- **Quemador de la cámara:** Regula el aire comburente, tiene un detector de llama, es homologado y cuenta con electrodos de encendido.
- **Puerta principal:** Es el lugar donde se introduce el féretro, lleva directamente a la cámara de cremación. Cuenta con un sistema de seguridad que impide que el horno funcione si la puerta no está bien cerrada.
- **Puerta secundaria, despacho de cenizas**: En esta puerta de recolecta las cenizas, allí se puede observar si el proceso se realizó adecuadamente, permite que el área de trabajo se limpie. La puerta secundaria está fabricada de un material especial.
- **Ventilador**: Provee de aire a la cámara de cremación permitiendo que el cuerpo se oxide.

Sistema de control: en este sistema se regula la temperatura y el tiempo de cremación. (Coinref, hornos industriales).

1.10 Áreas del ciclón

1.10.1 Área del cilindro del ciclón

$$A_{cilin} = 2\ x\ \pi\ x\ r\ L\ + e_{lv}$$

Ecuación 21 *Área del cilindro*

Donde:

$A_{cild.}$= Área del cilindro

r = Radio del cilindro mayor

e_{lv}= Espesor de la lana de vidrio.

$L_{Cilindro}$= Longitud del cilindro mayor.

1.10.2 Área del cono del ciclón.

$$A_{cono} = \frac{\pi\, r^2\, h}{3}$$

Ecuación 22 *Área del cono*

Donde:

$r_{inf.}$= Radio de la parte inferior del cono(m)

$h =$ Altura (m)

1.10.3 Área del cilindro menor de la salida del monóxido de carbono

$$A_{cild,menor} = \pi\ x\ r\ L + 0{,}0254$$

Ecuación 23 *Área del cilindro menor.*

$A_{cild,menor}$: Área del cilindro menor

$r =$ Radio del cilindro de salida

L= Longitud.

1.10.4 Calculando el área rectangular del ciclón de la entrada del monóxido de carbono.

$$A_{rect,entra} = \text{b x h} + e_{lv}$$

Ecuación 24 *Área rectangular del ciclón*

Donde:

$A_{rect,ent}$= Área rectangular del ciclón de la entrada del monóxido de carbono

$L\ y\ W$= Longitudes de los lados del rectángulo (longitud y ancho).

1.10.5 Cálculo del área del cilindro en la parte de la salida del monóxido de carbono.

$$A_{rect,salid.} = 2\ \pi\ x\ r\ x\ L_{tubo}\ + e_{lv}$$

Ecuación 25 *Salida de monóximo de carbono.*

Donde:

$A_{cilidr,sal}$ = Área del cilindro en la salida del monóxido de carbono

r: Radio del tubo de la salida

L: Longitud del tubo de la salida

1.11 Determinación de la resistencia por conducción

$$R_2 = \frac{L}{k\ A_T}$$

Ecuación 26 *Resistencia por conducción.*

Donde:

R_2= Resistencia térmica 2 de lana de vidrio

L= Longitud del ciclón

K= conductividad térmica de lana de vidrio.

A_T= Área total del ciclón.

1.12 Determinación de la resistencia por convección

$$R_3 = \frac{1}{h_1 A_2}$$

Ecuación 27 *Resistencia por convección.*

Donde:

h_1=coeficiente de convección

A_2= Área total del ciclón sin aislamiento

Se calculará cada una de las áreas, sin tener en cuenta la lana de vidrio.

$$A_2 = A_{cilindro} + A_{cono} + A_{al,menor} + A_{entra,rect} + A_{cil,salid}$$

Ecuación 28 *Sumas de las áreas.*

Se puede expresar de la siguiente manera:

$$A_2 = (\pi\, r_{cilid.} x\, l_{cili.}) + (\frac{\pi\, r_{con}^2\, h}{3}) + (\pi\, r_{cild.} x\, l_{cild.menor}) + (2 \text{ x } l_{entra,rect} + 2 \text{ x } w_{entra,rect}) + (\pi\ x\, r_{cilid;salid.} x\, l_{cilid;\, sal})$$

Ecuación 29 *Sumas de las áreas.*

Donde:

$r_{cild.}$= Radio del cilindro mayor del ciclón.

l_{cild}=Longuitud del cilindro del ciclón.

$r_{cono.}$= Radio del cono en la parte del ciclón.

h= altura del cono.

$r_{cilid;nenor}$= Radio del cilindro menor en la parte inferior del ciclón.

$l_{cilid;nenor}$= Longitud del cilindro menor en la parte inferior del ciclón

$l_{entrad;rect}$ = Longitudes del área del rectángulo de la entrada de aire (m)

$w_{entra;rect}$= Ancho de los lados del rectángulo de la entrada del aire (m)

$r_{cilid;sal}$= Radio de la salida del aire del ciclón.

$l_{cilid;salid}$= Longitud de la salida del aire del ciclón.

Entonces la razón de transferencia de calor a través del ciclón es:

$$q_{perdi} = \frac{t_2 - t_1}{R_t}$$

Ecuación 30 *Razón de transferencia de calor.*

q_{perd}= Calor perdido por el sistema.

T_2= T final (° C)

T_1= T inicia (° C)

R_t= La resistencia

El calor utilizado:

$$q_{apro} = \text{h } A_s\,(t_2 - t_1)$$

Ecuación 31 *Calor utilizado.*

Donde:

q :Transferencia de calor aprovechado

h : Coefi. convección

C_P : Calor específico

T_1: T inicial

T_2: T final

1.13 Intercambiador de calor a contraflujo

1.13.1 Flujo másico:

$$Q = \dot{m}\ x\ C_P\ x\ (T_{en} - T_{final})$$

Ecuación 32 *Flujo masico.*

Q: Calor aprovechado en el sistema

ṁ : Flujo másico

C_P : Calor específico

T_{en}: Temperatura de entrada

T_{final}: Temperatura de final

Para hallar la transferencia de calor de los tubos se resolverá de la siguiente manera.

$$A_I = n\ x\ \pi\ x\ l\ \ x\ D$$

Ecuación 33 *Área superficial total*

Donde:

A_I: El área de transferencia de calor del lado de los tubos

l: Longitud de las tuberías

D: Diámetro de la tubería

Tomando en cuenra la transferencia de calor con el área, el coeficiente total se resolverá de la siguiente forma.

$$\dot{Q}=U_i \text{ x } AI \text{ x F } \Delta T_{ml}$$

Ecuación 34 *Coeficiente de transferencia de calor total.*

Donde:

$\dot{Q}$: Razón de transferencia de calor

A_I: Área superficial

F: Corrección

ΔT_{ml} : Diferencia media logarítmica de temperatura

1.14 Material del Horno

- **Acero ASTM A-36**

Tiene mayor presencia en el mercado ecuatoriano y la demanda es bastante alta, por ser el más barato y tener un gran conjunto de propiedades en su composición química.

En la tabla 3, se observan las aleaciones que son parte del acero, por otro lado también se evidencian los porcentajes de cada compuesto del mismo.

Tabla 3. Composición química del acero ASTM A-36

Elemento	**C**	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**P**	**S**
%	0,25	0,02	99	0,8-1,2	Max 0,04	Max 0,05

Fuente: Mangonon, 1999

Se mostrarán las cualidades del acero ASTM A-36 que serán elementales hacia el desaroolo del proyecto, tabla 4.

Tabla 4. Principales propiedades del acero ASTM A-36

PROPIEDADES	**VALOR**	**UNIDADES**
Densidad	7850	Kg/m3
Límite de fluencia	32-36(250-280)	Ksi(Mpa)
Resistencia a la tención	50-80(400-550)	Ksi(Mpa)
Módulo de elasticidad	29000	Ksi
Punto de fusión	1538	ºC

Fuente: Mongon, 1999

CAPÍTULO II MATERIALES Y PROCEDIMIENTO

II. MATERIALES Y PROCEDIMIENTO

2.1. Diseño de Investigación

Cuantitativa - Tecnológica

Se planteará el proceso de la metodología para el diseño de un horno crematorio para el uso en cadáveres por COVID-19 Investigación aplicada.

2.2. Variables y funcionabilidad de variables

2.2.1. Variables

Independientes

- Capacidad para la cremación
- Nivel contaminante
- Transferencia de calor

Dependientes

- Selección de materiales
- Modificación del diseño

2.2.2. Operacionalización de la variables

Independientes

Tabla 5. Variables independientes.

Variables independientes	Dimensiones	Indicativos	Sub indicativos	Nomenclatura	Técnicas para copilación de datos	Métodos de copilación de datos	Dispositivos de evaluación
Capacidad para la cremación	- Capacidad que soporta el horno. - Temperatura de incineración del cadáver.	-Área total del horno -Masa corporal	-Temperatura máxima.	°C	-Análization -Observación -Entrevista	- Guías de análisis de documentos - Cuestionario	- Pirómetro
Nivel de contaminación	- Propiedades químicas.	-Gases emitidos por el horno.		%	- Análisis para documentos. - Observación - Entrevista	- Guías - Cuestionario	

Fuente : Elaborción propia

Dependientes

Tabla 6. Variables Dependientes.

Variable dependiente	Dimensión	Indicativos	Sub indicativos	Técnica para copilación de información	Métodos de copilación de información	Métodos de cuantificaión.
Selección de Materiales	- Propiedades del Material	- Resistencia de Materiales		- Estudio de registro. - Observación	- Guías de estudios para oficios. - Formulario.	- Especificaciones Técnicas del material.
Modificación del Diseño	- Simulación en Software			- Observación	- Cuestionario	- SOLIDWORKS

Fuente Elaboración propia

2.3 Población y Muestra

- **Población**

No se emplea

- **Muestra**

No se emplea

2.4. Metodos y dispositivos para la copilación de información.

2.4.1. Metodo de copilación de información.

- **Observación**

A través de esta técnica, desarrollará la selección de datos técnicos y empíricos, además de las visitas de campo (hospitales y servicios de funeraria que cuenten con hornos crematorios), variables que valdrán para la creación del conjunto de problemas y las demandas que se precisa complacer para el desenlace del problema.

- **Entrevista**

Se llevaron a cabo entrevistas a especialistas relacionados con el tema que conducen la presente investigación, también a servicios de funeraria y operadores de los hornos.

- **Información bibliográficas**

Este método será empleado para reclutar información concisa y referencial, es decir guías para el proceso de la tesis, selección de datos, diversas fuentes bibliográficas encontradas en el navegador, revistas, libros, tesis, publicaciones científicas, entre otras. Contando con información apropiada respecto al diseño de un horno crematorio óptimo para el trato de cadáveres por el COVID-19.

- **Guías de análisis documental:**

Las guías servirán como referencia para tomar un registro metódico de las fuentes de consultas durante la investigación.

2.4.2. Dispositivos para la recopilación de información

- Laptop
- Lápiceros
- Internet
- Celulares

- **Guías para Observación**

Las elaboraciones de guías de observación servirán para las visitas a funerarias y hospitales que cuenten con hornos crematorios (observar el proceso de cremación de los cadáveres) y así registrar el funcionamiento de los hornos crematorios para un futuro rediseño.

- **Cuestionario**

Se implementará con la ayuda de un asesor, interrogantes por cada especialista que se entrevistará, con el objetivo de alcanzar la información significativa, precisa y fiable de la problemática, considerando posibles soluciones.

2.5 Validéz y Confiablidad

Estimación de datos y/o información a recoger por medio de los instrumentos de selección de datos, serán inscritos en sus correspondientes guías.

La realización de trabajo de forma frecuente con los asesores (especialista y metodólogo) de la investigación, además de diferentes expertos que estarán implicados en la ejecución del proyecto.

La aceptación y certificación de cada uno de los métodos e instrumentos de selección de datos a elaborar, por un experto, el cual respalda la validez e importancia de los mismos.

2.6 Sistema para la copilación de información

2.6.1 Esquema de secuencia de procedimientos.

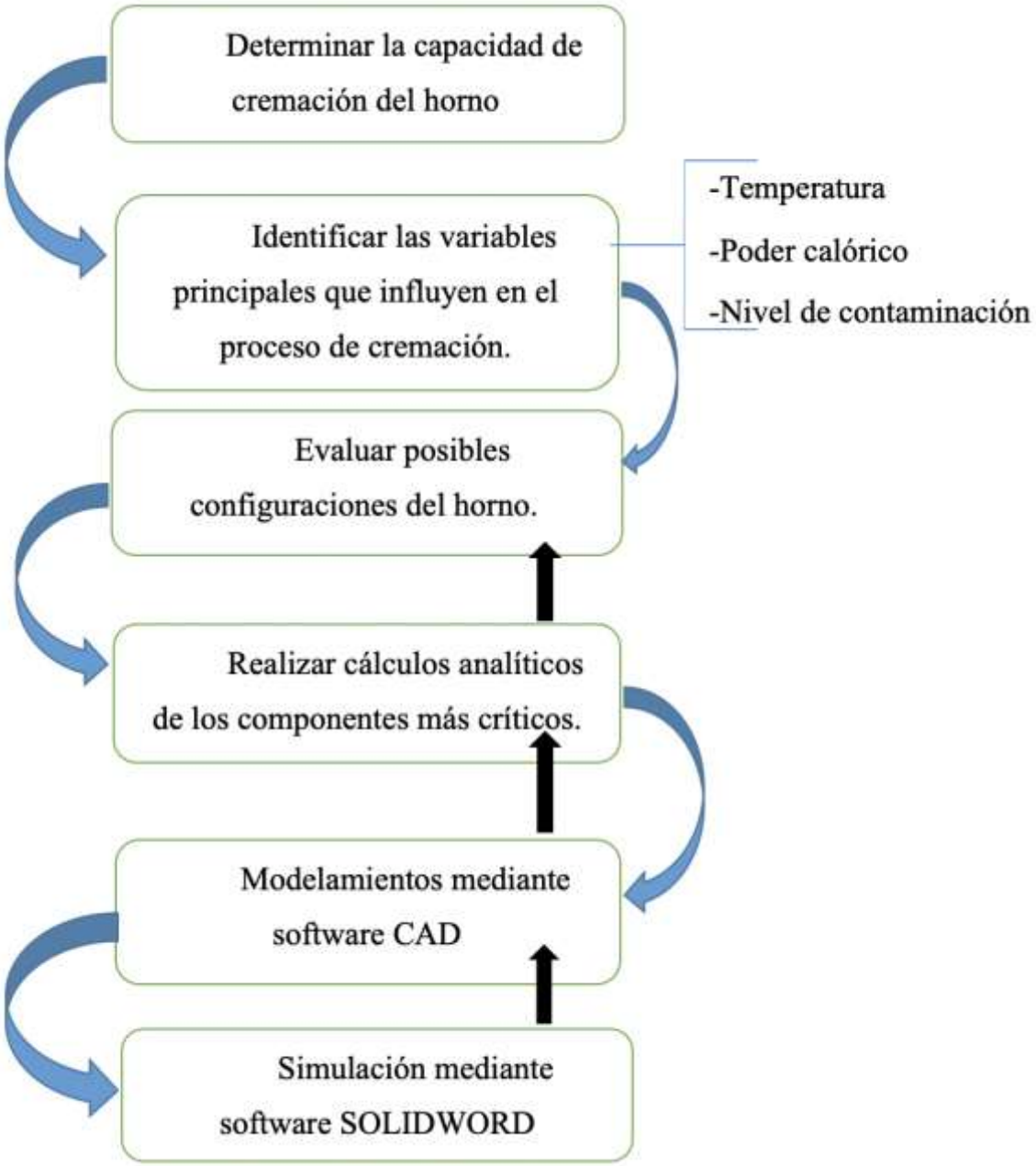


Figura 7. *Flujo de procesos.*

2.6.2 Explicación de los procedimientos

Determinar la capacidad de cremación del horno.

Se revisa la información publicada por fuentes confiables y oficiales, además se recopila la misma y se emplea en el proyecto.

Hallar razones fundamentales que intervengan en el procedimiento de la cremación.

Se identificarán las variables de diseño, de acuerdo al trabajo de campo (visitas a las funerarias y hospitales que cuenten con hornos crematorios en la provincia de Chiclayo), así también se realizarán consultas y entrevistas con especialistas en el tema.

Evaluar las posibles configuraciones de diseño del horno.

Se realizará la configuración de la máquina, utilizando como herramienta una matriz morfológica que permita seleccionar las configuraciones más óptimas para el horno.

Realizar cálculos analíticos de los componentes más críticos.

Se realizarán los cálculos partiendo de las variables obtenidas, los criterios de diseño, utilizando las teorías científicas correspondientes.

Simulación a través del programa SOLIDWORKS.

Se realizará la simulación del diseño del horno crematorio, para revisar posibles rediseños.

2.7. Aspectos éticos.

Código de ética del CIP (Colegio de Ingenieros del Perú) Aprobado en la III Sesión Ordinaria del Congreso Nacional de Consejos departamentales del Periodo 1998 – 1999 en la ciudad de Tacna 22, 23 y 24 de abril de 1999.

Título I, de la Relación con la Sociedad

Art.4.- Los ingenieros reconocerán que la seguridad de la vida, la salud, los bienes y el bienestar de la población y del público en general, así como el desarrollo tecnológico del país dependen de los juicios, decisiones incorporadas por ellos o por su consejo, en dispositivos, edificaciones, estructuras, máquinas, productos y procesos. Por ninguna razón pondrán sus conocimientos al servicio de todo aquello que afecta la paz y la salud.

2.7.1 Código de Ética del Colegio de ingenieros (CIP). Aprobado en la III sesión ordinaria del congreso nacional de consejos departamentales del periodo 1998 – 1999 en la ciudad de Tacna 22, 23, 24 abril 1999.

Art. 2.- Los ingenieros deben promover y defender la integridad, el honor y la dignidad de su profesión, contribuyendo con su conducta a que el consenso público se forme y mantenga un cabal sentido de respeto hacia ella y sus miembros, basado en la honestidad e integridad con que la misma se desempeña. Por consiguiente, deben ser honestos e imparciales. Sirviendo con fidelidad al público, a sus empleadores y a sus clientes; deben esforzarse por incrementar el prestigio, la calidad y la idoneidad de la ingeniería y deben apoyar a sus instituciones profesionales y académicas.

Art. 5.- los ingenieros cuidaran que los recursos humanos, económicos, naturales y materiales, sean racional y adecuadamente utilizados, evitando su abusos o dispendio, respetaran y aran respetar las disposiciones legales que garanticen la preservación del medio ambiente.

2.7.2 Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS), Ratificado po acuerdo de consejo universitario con resolución rectoral N° 0851-2017/USS

Art. 2º: Finalidad

El Código de Ética de investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS), tiene como finalidad proteger los derechos, la vida, la salud, la intimidad, la dignidad y el bienestar de la(s) persona(s) que participan en una actividad de investigación Científica, Tecnológica e innovación, ciñéndose a los principios éticos acogidos por la normativa nacional e internacional, y los acuerdos suscritos por nuestro país en la materia.

Art. 3º: Alcance

El presente código de ética de investigación es de cumplimiento obligatorio para todas las autoridades académicas, administrativas, docentes, estudiantes, egresados y administrativo de la Universidad Señor de Sipan.

III. RESULTADOS

3.1 Reconocimiento de necesidades

Los encuentros con algunos entendidos en el tema fue de vital importancia ya que nos brindaron información real sobre el tema. También en algunos servicios funerarios y se llago a la conclusión que, en la cuidad de Chiclayo hasta el momento no existen hornos crematorios exclusivamente para cadáveres con COVID19. Y que por el momento se utilizan hornos crematorios convencionales, cabe recalcar que en la cuidad de Chiclayo cuenta con pocas unidades.

En la cuidad de Chiclayo el horno crematorio mas usado, es el modelo de PowerPak 1, Smoke-BusterTM 138, ideal para espacios pequeños, funcionamiento automático, eficaz en su clase en cuanto a ahorro de combustible y diseñado para 4 cremaciones por día.

Tabla 7. Especificaciones del horno

Horno crematorio	**Capacidad de cremación (persona/día)**	**Especificación técnica**
Smoke-Buster TM 138	4 personas (cadáveres)	**Especificaciones eléctricas:** 220 voltios, monofase/trifase

Fuente : Elaboración propia

Tabla 8. Lista de exigencias

LISTA DE EXIGENCIAS			
PROYECTO		**DISEÑO DE UN HORNO CREMATORIO PARA EL MANEJO DE CADAVERES POR COVID-19 EN LA PROVINCIA DE CHICLAYO.**	**FECHA:**
UNIVERSIDAD		**UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN**	**ELABORADO:**
FECHA	**DESEO(D) O EXIGENCIA(E)**	**EXPLICACIÓN**	**RESPONSABLE**
		OBJETIVO:	
	E	Cremar el cadáver con COVID19 a partir de temperaturas de 800ºC hasta los 900ºC.	
		(capacidad de la cámara)	
	E	El horno deberá alcanzar las temperaturas hasta 1450 ºC y cremar de 4 a 6 cadáveres por día.	
	E	**ATRIBUTO:** Las temperaturas de cremación del horno tendrán que ser repartidas uniformemente en la cámara de combustion, por consecuencia la integridad de la estructura no se verá afectactada.	
	E	**ENERGIA:** Para poder obtener la temperatura necesaria para el proceso de cremación, se utilizarán quemadores. Con 20 Watts de potencia.	
	E	**GEOMETRIA:** El diseño de horno crematorio deberá ser compacto y cumplir correctamente la función de aislar las temperaturas internas der horno, para no causar accidentes con los operadores.	

Fuente : Elaboración propia

El funcionamiento estándar de un horno crematorio es de 5 personas (cadáveres) cada 60 minutos. Tomando en cuenta todas las inspecciones de campo se asegura que generalmente las empresas que realizan este trabajo, lo hacen con 1 horno crematorio siendo muy escaso y por nueva medida sanitaria del COVID19, tmabien se concluyo que es necesario contar con el diseño de hornos crematorios especialmente para el COVID19. por la alta demanda del servicio.

Durante las visitas a campo se concluyo que las temperaturas necesarias para poder trabajar optimamente son: Iniciando un precalentamiento de la primera camara de combustion a unos 600ºC y posteriormente a 1450 ºC, siendo esta su capacidad maxima, dependiendo del cadaver, peso y estatura.

3.2. Especificaciones de diseño del horno .

3.2.1. Lista de exigencias

Es necesario el diseño un horno crematorio especialmente para la nueva medida sanitaria del COVID19 en la cuidad de Chiclayo, se plantearán las siguientes exigencias con las que se tendra que tomar en cuenta para el horno.

El horno contara con un volumen de la cámara principal de 250 cm con una temperatura de 800 º C siendo capaz de incinerar óptimamente el cadáver, posteriormente pasa a una segunda cámara para la depuración de los gases emitidos por el cadáver y entre ello asegurarse que el virus sea desintegrado óptimamente.

Tabla 9. Lista de exigencias

LISTA DE EXIGENCIAS			
PROYECTO		**DISEÑO DE UN HORNO CREMATORIO PARA EL MANEJO DE CADAVERES POR COVID-19 EN LA PROVINCIA DE CHICLAYO.**	**FECHA:**
UNIVERSIDAD		**SEÑOR DE SIPAN**	**ELABORADO:**
FECHA	**DESEO(D) O EXIGENCIA(E)**	**DESCRIPCIÓN**	**RESPONSABLE**

		SISTEMA DE INTRODUCCION:	
	E	Para el sistema de introducción del féretro(cadáver), se podrá utilizar, rodillos transportadores hasta la entrada de la primera cámara de combustión.	
		CONTROL:	
	D	El horno crematorio deberá tener un metodo de off – on sencillo. Asimismo se deberá implementar medidores de temperatura.	
		FUNCIONAMIENTO:	
	E	El funcionamiento para este horno deberá ser sencillo y entendible para cualquier tipo de personal en el área.	
		FIABILIDAD:	
	E	El horno deberá garantizar la entereza física del operario, impidiendo que este expuesto a calores elevados.	
		FABRICACIÓN:	
	E	Se buscará tomar en cuenta los insumos que ya estan en el mercado, asegurando posibilidad de manufactura, sin dejar de lado lo economico.	

Fuente Elaboración propia

3.2.2. Condiciones de Operación.

El horno crematorio será operado por personas que no necesariamente tienen que ser personal capacitado.

3.3 Funciones de cada Estructura.

Se analizará cada proceso del funcionamiento del horno, tomando en cuenta como base principal los críterios técnicos, progresión de operaciones para agruparlas y establecer una estructura fija.

3.3.1. Procesos Técnicos

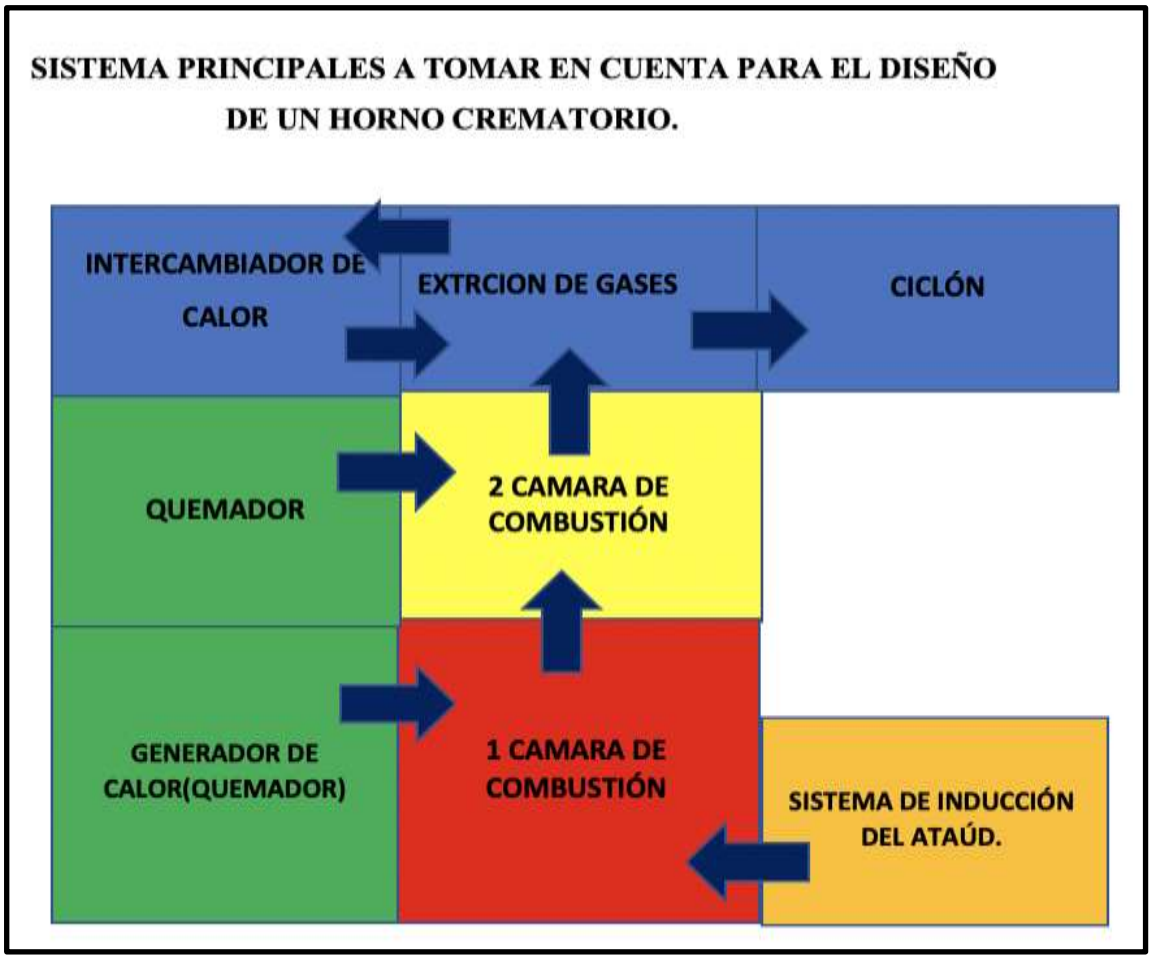


Figura 8. Secuencia de procesos

3.3.2. Secuencia de operaciones para la cremación del cadáver con COVID-19.

- Recepción del ataúd (cadáver).
- Introducción del ataúd.
- Accionamiento del sistema del horno.
- Sistema de generación de calor.
- Inicio de precalentamiento de las cámaras de combustión.
- Control de cremación del cadáver.

3.3.3. Procediminetos técnicos para el diseño general.

- Procedimiento estacionario del horno crematorio.
- Procedimiento para la generación de energía.
- Procedimiento para el suministro de combustible.

3.3.4. Conceptualización de Estructuras para funciones.

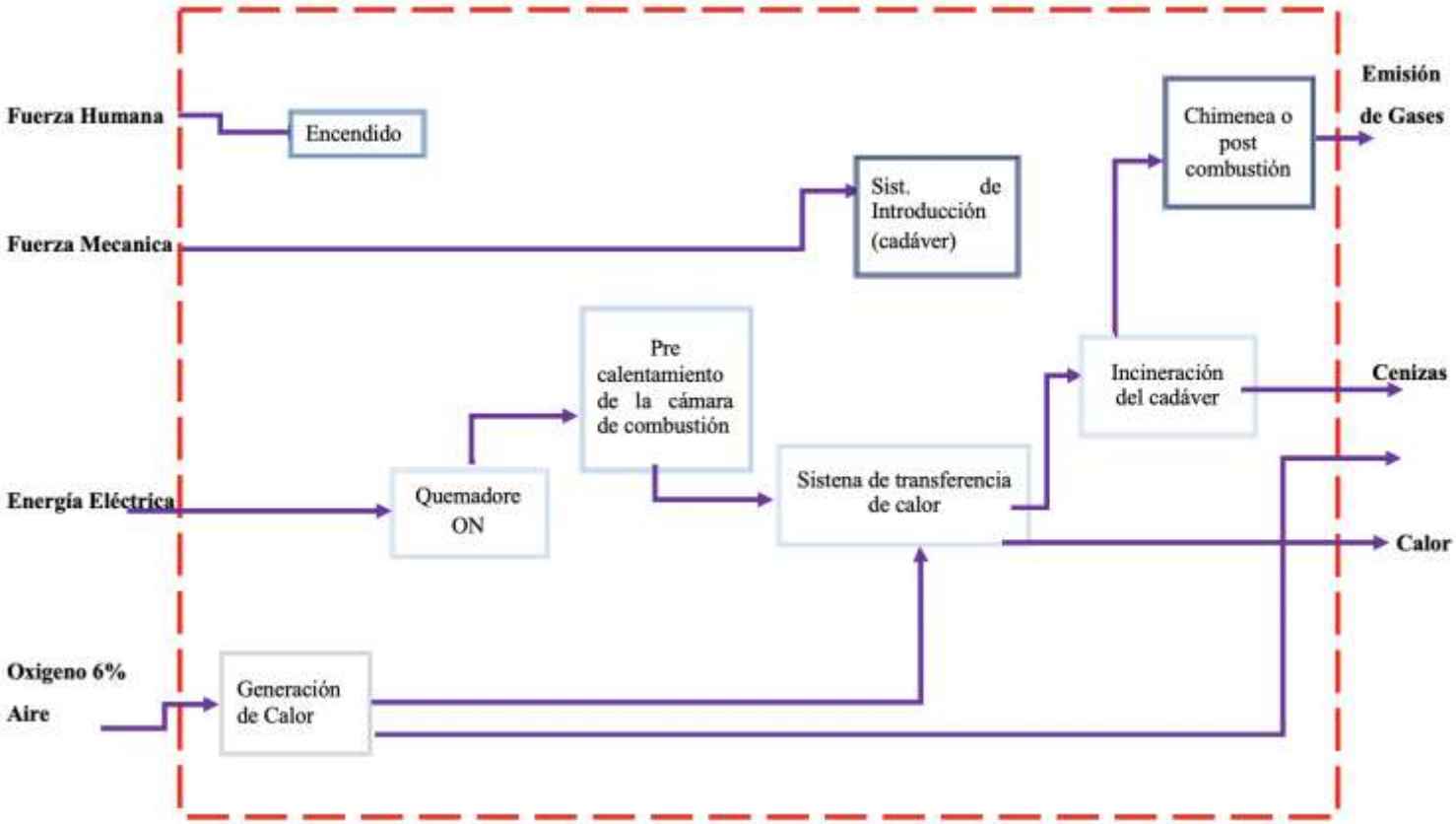
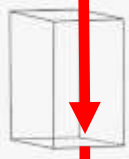
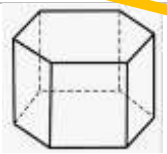
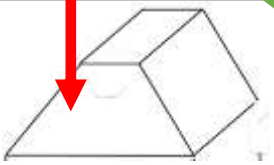


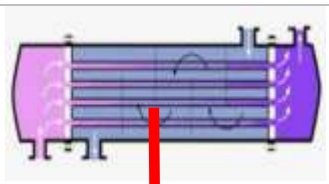
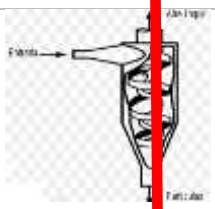
Figura 9. *Estructura de funciones*

Fuente: Elaboración Propia

3.3.5. Elaboración de la Matriz Morfologica.

Tabla 10 *Matriz Morfológica de Horno crematorio.*

Traslado de Feretro	Carro extensible	Carro mortuorio	Carro elevador
Material del Feretro	Feretro de madera	Feretro de carton reciclado	Feretro de metal
Sistema de introduccion del feretro	Rodillos de acero	Faja transportadora	
Generador de Calor	Quemador		
Forma para una cámara de combustión.	 Rectangular	 Hexagonal	Cilindrica
Geometria para una cámara de postcombustión.	 Trapecio	Rectangular	

Tipo de fuente para la transferencia de fluido.	 Intercambiador de calor (Agua)	Ventilador centrifugo (Aire)	
Sistema de purificacion de gases emitidos al medio ambiente.	 Separador ciclonico		

SOLUCIÓN 3 SOLUCIÓN 2 SOLUCIÓN 1

3.3.6 Propuestas de solución.

Inicialmente se propuso una solución que consta de dos cámaras de combustión rectángular, la primera con un sistema de introducción por medio de fajas transportadoras, que se encargará de ingresar el féretro, que a su vez será quemado, cabe resaltar que el mismo será de madera. La segunda cámara se encontrará en la parte superior de la primera, siendo parte de la post combustión y tendrá la función de quemar los gases emitidos en la primera.

En cuanto a la propuesta de la solución número dos, se utilizó una estructura cilíndrica para la cámara de combustión. Asimismo, para la segunda cámara se eligió la geometría rectángular y para la generación de calor se plantea un quemador para cada cámara. Además, para ingresar el fétrero; que sería de madera, se dispone emplear un sistema de faja transportadora. Por último, para la emisión de gases y enfriamiento se prefiere usar el aire frío, a tráves de un ventilador centrifugo.

La última propuesta consta del traslado del feretro y se sugiere que sea por medio de un carro mortuorio, para mayor seguridad. En cuanto al sistema de introduccón del féretro se propone utilizar rodillos de acero, que no dañen la madera, que será el material del ataúd. Además, se estimó que utilizar la geometría rectángular para la primera cámra será lo más óptimo para un mejor funcionamiento, mientras que para la segunda cámara, se optará por un prima de trapecio, característica que admite que los gases fluyan de manera eficiente hacia la parte superior del horno. Para el sistema de enfriamiento se ha considerado usar un intercambiador de calor, puesto que gracias a este sistema, los gases pasarán por la chimena a una mínima temperatura. Asimismo, se empleará un separador ciclónico para el sistema de purificación, ya que con este sistema, la emisión de gases será reducida y las partículas más cargadas quedarán en la parte inferior del ciclón.

3.4 Estimaciones técnicas y económicas de las propuestas de solución.

En las siguientes tablas se muentran las evaluaciones técnicas y económicas de tres alternativas de solución planteadas. Resultando la tercera como la más eficaz.

Tabla 10. Evaluación técnica.

Diseño mecanico – Evaluacion de Proyecto Valor Tecnico (Xi)							Informe de Tesis	
p : puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225) 0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal) g: es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación.								
Cristerios de evaluacion para diseños								
Variantes de concepto/Proyectos			**Solución 1**		**Solución 2**		**Solución 3**	
Nª	Criterios de Evaluación	g	p	**gp**	p	**gp**	p	**gp**
1	Capacidad	**4**	3	**12**	3	**12**	4	**16**
2	Configuración	**2**	2	**4**	2	**4**	2	**4**
4	Ergonomía	**3**	3	**9**	2	**6**	3	**9**
5	Manufactura	**4**	3	**12**	3	**12**	3	**12**
6	Complejidad	**3**	2	**6**	2	**6**	3	**9**
7	Condiciones de traslado	**4**	3	**12**	2	**8**	3	**12**
8	Montaje	**2**	2	**4**	2	**4**	2	**4**
9	Perdurabilidad	**2**	2	**4**	2	**4**	2	**4**
10	Seguridad	**3**	2	**6**	2	**6**	3	**9**
Puntaje máximo Σp ó Σgp		**33**		**81**		**74**		**93**
Valor Técnico Xi				**0,61**		**0,56**		**0,71**

Tabla 11. Estimación Económica.

Diseño mecánico – Evaluación de Proyecto Valor Económico (Yi)								Informe de Tesis
p : puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225) 0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal)g: es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación.								
Cristerios para la evaluacion del diseño.								
Variantes de concepto/Proyectos			**Solución 1**		**Solución 2**		**Solución 3**	
Nª	Cristerios de Evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp
1	Número de piezas.	**4**	3	**12**	3	**12**	3	**12**
2	Disponibilidad de los insumos	**4**	3	**12**	3	**12**	3	**12**
3	Operarios	**3**	2	**6**	2	**6**	3	**9**
4	Costo de materiales	**3**	2	**6**	2	**6**	3	**9**
5	Gasto de Manufactura	**3**	2	**6**	1	**3**	3	**9**
6	Gasto de energía	**3**	2	**6**	2	**4**	3	**9**
Puntaje máximo Σp ó Σgp.		**23**		**60**		**51**		**72**
Valor Económico Yi				**0,65**		**0,55**		**0,78**

Nota: Se sumarán todos lo criterios para una óptima estimación.

3.5 Diseño y cálculos fundamentales.

En esta parte de la investigación se da inicio a los cálculos fundamentales para la creación del diseño del horno crematorio. Eligiendo entre las propuestas la solución número 3, pues el resultado fue favorable para la realización del proyecto.

DISEÑO DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN

3.5.1 Dimensiones de la primera cámara :

Para diseñar la primera cámara tomaremos en cuenta las medidas del ataúd. Asimismo cabe recalcar que no existen especificaciones sobre los materiales o diseño.

Medida estándar de un ataúd

Longitud: 1,90 mts

Alto: 42 cm

Ancho: 30 cm

Medida "Ataud XL"

Longitud : 2.10 mts

Alto : 42 cm

Ancho: 90 cm

Tomando en cuenta estos datos, se diseñará la primera cámara de combustión, que será un prisma con una longitud de 2,60 mts, alto de 1,20 mts y 1,20 mts de ancho.

Se definirá los parametros que establecen completamente el arco:

R = 70 cm

Centro = 30 cm

Longitud C= 120 cm

Parámetros necesarios :

$$C = 2\ x\ R\ x\ Sin(\frac{\theta}{2})$$

Ecuación 35. *Centro del radio.*

Despejando : $\theta = 2\ x\ arcosin\ (\frac{120}{2\ x\ 70}) = 2,05\ rad$

La altura será:

$$\mathrm{h} = R - R\ x\ Cos(\frac{\theta}{2})$$

Ecuación 36. *Altura*

$$\mathrm{h} = 70x\ 70\ x\ Cos(\frac{2{,}05}{2}) = \ 33.66\ cm$$

La longitud del arco S :

$$\mathrm{S} = R\ x\ \theta$$

Ecuación 37. *Longitud del arco.*

$$\mathrm{S} = 70\ x\ 2,05 = 143{,}5\ cm$$

Área del segmento circular:

$$A = \ R^2\ x\ \left(\frac{\theta}{2}\right) - \frac{R^2\ x\ Sin\ (\theta)}{2}$$

Ecuación 38. *Área del segmento ciurcular.*

$$A_{rcosección} = \ 70^2\ x\ \left(\frac{2{,}05}{2}\right) - \frac{70^2\ x\ Sin\ (2{,}05)}{2} = 2848{,}46cm^2$$

El volúmen del arco se obtendra tomando el área por la longitud de cada cámara.

$$V_{arco} = A_{arco}\ x\ L$$

Ecuación 39. *Volumen del arco.*

$$V_{arco} = 2848{,}46\ x\ 260 = 740599{,}6\ cm^3$$

Área y volumen de la sección rectangular:

$$A_{prisma} = (120 - 33{,}66)x\ 120 = 10360.8\ cm^2$$

Volúmen del prisma:

$$V_{prisma} = \left(A_{prisma}\ x\ L\right)$$

Ecuación 40. *Volumen del prisma.*

$$V_{prisma} = 10360.8\ x\ 260 = 2693808\ m^3$$

Para el área total de cada sección y el volúmen de la primera cámara de combustión:

$$A_{totalsección} = A_{arco} + A_{prisma}$$

Ecuación 41. *Área total de la sección*

$$A_{totalsección} = 2848{,}46 + 10360.8$$

$$A_{totalsección} = 13209{,}26\ cm^2$$

Para el volúmen total será :

$$V_{total} = V_{arco} + V_{prisma}$$

Ecuación 42. *Volumen total*

$$V_{total} = 740599{,}6 + 2693808$$

$$V_{total} = 3434407{,}6\ cm^3$$

Así tambien se deberá calcular la superficie de la pared, dicho de otro modo, el aréa del ladrillo refractario que estará en constante interacción con las particulas de combustión. El arco será calculado de la siguiente forma.

$$A_{arcosuperficie} = S + L$$

Ecuación 43. *Arco de superficie de la pared*

$$A_{arcosuperficie} = 143{,}5 + 260 = 37310\ cm^2$$

Para la superficie de contacto, se deberá sumar todas la áreas del rectangulo formado.

$$A_{prismasuperficie} = 2\ x\big((120 - 33{,}66)x120\big) + 2x\big((120 - 33{,}66)x260\big) + 120x260$$

$$A_{prismasuperficie} = 96818{,}4\ m^2$$

La superficie en interacción con los gases será:

$$A_{prismasuperficie} = A_{arcosuperficie} + A_{prismasuperficie}$$

Ecuación 44. *Superficie, intersección con los gases.*

$$A_{prismasuperficie} = 37310 + 96818{,}4$$

$$A_{prismasuperficie} = 134128{,}4\ cm^2$$

3.7 Flujo másico de los quemadores

Se tomará en cuenta utilizar dos quemadores con una potencia de 20 kW, permitiendo un mayor distanciamiento de la flama. Considerando esta información, se podrá hallar el flujo masico del gas natural que se ocupará para cada quemador, usando esta formula.

$$Pot = \dot{m} \times PCI$$

Ecuación 45. *Flujo masico de los quemadores.*

Pot = Potencia kW.

ṁ = Flujo másico kg/s.

PCI = Poder calorífico (kJ/kg)

El PCI para el gas natural será: 39900 kJ/kg.

El gas natural que va ingresando a los quemadores será:

$$\dot{m} = \frac{P_{ot}}{PCI}$$

Ecuación 46. *Flujo masico de gas*

$$\frac{20}{39900} = 0.0005\ kg/seg$$

Se procederá a calcular la masa molar del aire:

$$\overline{M_{aire}} = \frac{1}{4.75} \times (1 \times 32 + 3{,}76 \times 28)$$

$$\overline{M_{aire}} = 28.09\ \frac{kg}{mol}$$

$$\dot{m_{aire}} = \frac{0.0005\ x\ 47.74}{1.81}$$

$$\dot{m_{aire}} = 0.013\ kg/seg$$

La tasa de flujo másico que emanan los quemadores es una suma de un flujo volumetrico de gas y de aire. Y lo expresamo de esta manera:

$$\dot{m} = 0{,}013 + 0{,}0005$$

$$\dot{m} = 0{,}0135\ kg/seg$$

Para hallar el alcanse del quemador se utilizará la siguiente ecuación:

$$Q=\frac{m}{\rho}$$

Ecuación 47. *Capacidad del quemador.*

$$Q= 0{,}0135/0.19118$$

$$Q= 0.0706\ \frac{m^3}{seg}$$

3.7.1 Determinación de transferencia de calor en el ataúd.

En la elaboración del diseño, se determinó que sus paredes internas serán construidas de ladrillos refractarios, ya que soportan temperaturas muy elevadas. Se obtuvo como dimensiones: 22 de largo, 11 de ancho y 6 de espesor.

El material para recubrir la primera cámara será de acero ASTM A36 con un grosor de 2 mm y su aislamiento térmico de 50.8 mm de espesor.

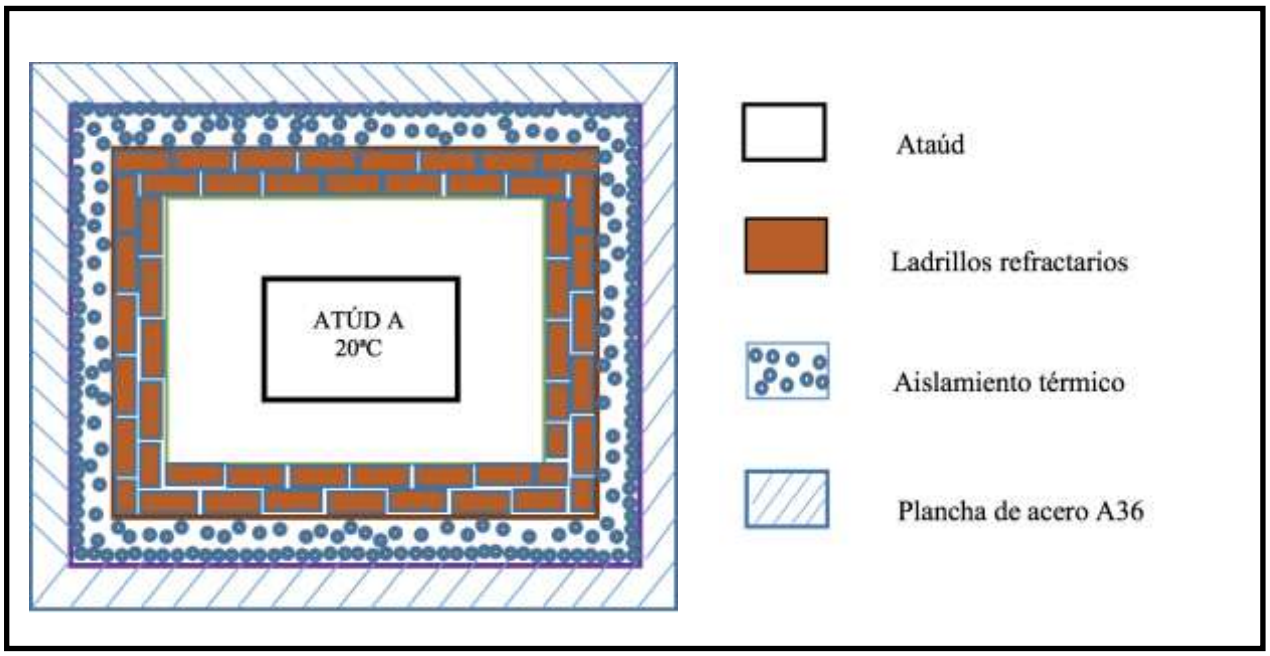


Figura 10. *Capas de materiales de la primera cámara*

Fuente Elaboración propia.

$$\begin{pmatrix} 81{,}86CH_4 \\ 11{,}61C_2H_6 \\ 1{,}92C_3H_8 \\ 0{,}23C_4H_{10} \\ 0{,}22C_4H_{10} \\ 0{,}9N_2 \\ 3{,}18CO_2 \end{pmatrix} + 1{,}6 \times 216{,}88 \times (O_2 + 3{,}76N_2) \rightarrow 208{,}48 \times H_2O + 115{,}82 \times CO_2 + 130{,}13 \times O_2 + 1305{,}65 \times N_2$$

Se utilizarán las masas molares de los siguientes elementos:

Tabla 12. Elementos y moles

ELEMENTO	M(g/mol)
C	12
H	1
O	16
N	14

Nota: Los valores son diferentes para todos los elementos.

El promedio de la masa molar para el gas natural es el siguiente.

$$\overline{M_{gas}} = \frac{1}{4{,}75} \text{x } (16 \times 81{,}86 + 30 \times 11{,}61 + 44 \times 1{,}92 + 58 \times 0{,}45 + 28 \times 0{,}9 + 44 \times 3{,}18)$$

$$\overline{M_{gas}} = 18.07 \ \frac{kg}{k\ mol}$$

3.7.2 Circuito térmico de flujo de calor perdido.

Cálculo de coeficiente de radiación exterior

El fluido de aire ingresa cuando el horno es abierto, es decir se produce una convección natural y será de 7 $\frac{w}{m^2\,k}$. Para encontrar el coeficiente de radiación exterior, se deberá utilizar la formula de la emisividad, donde referiere que la temperatura del cadáver será la cuarta parte de la pontencia.

Asimismo, se utilizará una temperatura de 1450°C.

$$E = \in x\ \sigma\ x\ T^4$$

Ecuación 48. *Emisividad.*

Donde:

$\in$: emisividad

σ : constante de Stefan-Boltzmann

T: temperatura

Implicando la ecuación

$$E = \in x\ \sigma\ x\ (T_{\sup,ext} - T_{ext})$$

Ecuación 49. *Coeficiente de radiación.*

Obteniendo la siguiente información :

$$h_{conv,rad\ ext} = h_{rad\ ext} + h_{conv,ext}$$

Ecuación 50. *Coeficiente de TC*

Donde:

$h_{conv,rad\ ext}$: Coeficiente de TCCR en la parte extrior del horno.

$h_{rad\ ext}$: Coeficiente de TC en el horno.

$h_{conv,ext}$: Coeficiente de TCC por el horno.

Se obtendrá el calor transferido por radiación:

$$E = h_{rad\ ext}\ x\ \left(T_{\sup,ext} - T_{ext}\right)$$

Ecuación 51. *Calor transferido por radiación.*

Igualando las ecuaciones tenemos:

$$\in x\ \sigma\ x\ (T_{sup,ext}^4 - T_{ext}^4) = h_{rad\ ext}\ x\ \left(T_{\sup,ext} - T_{ext}\right)$$

Para obtener el valor de la emisividad se obtiene del acero A36 es de 0.7 tal y como se indica en la tabla .

Despejando la ecuacion y poniendo los valores:

$$h_{rad\ ext} = \in x\ \sigma\ x\ (T_{sup,ext}^4 - T_{ext}^4\ )/\left(T_{\sup,ext} - T_{ext}\right)$$

$$h_{rad\ ext} = 0.7\ x\ 5.6\ x\ 10^{-8} x\ \frac{333^4 - 293^4}{333 - 293}$$

$$h_{rad\ ext} = 4.89\ \frac{W}{m^2\ K}$$

Entonces:

$$h_{conv,rad\ ext} = h_{rad\ ext} + h_{conv,ext}$$

$$h_{conv,rad\ ext} = 7 + 4.89$$

$$h_{conv,rad\ ext} = 11.89\ \frac{W}{m^2\ K}$$

Para determinar el calor perdido por el sistema, se obtiene la siguiente ecuación :

$$R_1 = \frac{1}{h_1 x\ A}$$

Ecuación 52. *Calor perdido.*

Se procederá a cálcular el área del horno:

A= 2(b x a)+ 2(a x L) + 2 (b x L)

Ecuación 53. *Área del horno.*

Donde:

A: Área del horno ($m^{2)}$

b: Ancho del horno ($m^{2)}$

L: longitud del horno (m)

a: Altura del horno(m)

Reemplazamos el área del horno:

A= 2(1,20 x 1,20)+ 2(1,2 x 2,6) + 2 (1,2 x 2,60)

A= 15,36 m^2

Reemplazamos:

$$R_1 = \frac{1}{4{,}89\ x\ 15{,}36}$$

$$R_1 = 0{,}013$$

Determinamos el flujo de calor perdido:

$$q_1 = \frac{T_1 - T_2}{R_1}$$

Ecuación 54. *Flujo de calor perdido.*

$$q_1 = \frac{333 - 293.15}{0.013}$$

$$q_1 = 3065.38\ w$$

Convección a través de paredes planas en serie:

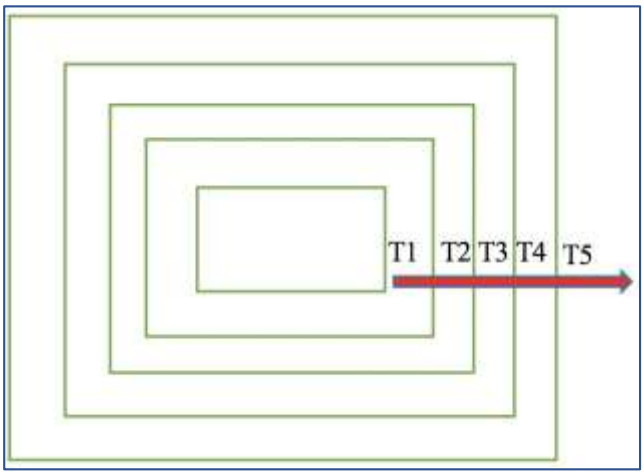


Figura 11. *Convección de paredes planas.*

Fuente: Creación propia

Cálculamos la sumatoria de las resistencias:

$$R_2 + R_3 + R_4$$

Entonces hallamos el área:

$$\mathrm{A} = 2\ (\mathrm{b\ x\ a}) + 2a\mathrm{L} + 2\mathrm{bL}$$

$$\mathrm{A} = 2\ (1{,}2\ \mathrm{x}\ 1{,}2) + 2(1{,}2\ x\ 2{,}60) + 2(1{,}2\ \mathrm{x}\ 2{,}60)$$

$$\mathrm{A} = 15.36\ m^2$$

Se procederá a cálcular la resistencia 2:

$$R_2 = \frac{K\ A}{L}$$

Ecuación 55. *Resistencia 2.*

Se seleciona la conductividad térmica de la madera en la siguiente tabla 14.

Tabla 13. Conductividad térmica

Material	λ W/(m·K)
Hielo	2
Hierro	80,2
Hormigón	1,7
Ladrillo	0,80
Ladrillo refractario	0,47 - 1,05
Latón	81 - 116
Litio	301,2
Madera	0,04 - 0,4
Mercurio	83,7
Mica	0,35
Níquel	52,3
Oro	318
Parafina	0,21
Piedra arenisca	2,4
Plata	429
Plomo	35,0
Polipropileno	0,12
Tierra húmeda	0,8
Vidrio	0,6 - 1,1

$$R_2 = \frac{0.4 \text{ X } 15.36}{15.36}$$

$$R_2 = 0.4 \frac{w}{m^2\ °k}$$

Se calculará la temperatura en la entrada del horno.

$$T_2 = (q\ x\ R_2) + T_1$$

Ecuación 56. *Temperatura en la entrada del horno.*

$$T_2 = (\ 3065.38 \text{ x } 0.4) + 333$$

$$T_2 = 1559.15\ °K$$

Cálculo de la resistencia de pared de ladrillos refractarios.

$$R_3 = \frac{K\,A}{L}$$

Ecuación 57. *Resistencia en la pared de ladrillos refractarios*

Se encontrará el área del exterior de los ladrillos:

A= 2(a x b)+ 2(a xL) + 2 (b x L)

Ecuación 58. *Área exteroir de ladrillos*

A= 2(1.31x 1.31)+ 2(1.31 x 2.71) + 2 (1.31 x 2.71)

A= 18.13 m^2

Se seleciona la conductividad térmica de la ladrillos refractorios en la tabla14.

$$R_3 = \frac{0.47 \text{ x } 18.18}{2.71}$$

$$R_3 = 3.15 \frac{w}{m^2\,°k}$$

3.8 Cálculo de la resistencia de la fibra de vidrio

Se escogerá una conductividad para los ladrillos refractarios en la tabla 14.

Se procederá a reemplazar los valores de la ecuación:

$$R_4 = \frac{0.046 \text{ x } 22.96}{2.71 + 0.0508}$$

$$R_4 = 0.383 \frac{w}{m^2\ °k}$$

3.9 Cálculo de la resistencia de la plancha de acero A36.

A= 2(a x b)+ 2(a xL) + 2 (b x L)

Ecuación 59. *Área de la plancha de acero.*

A= 2(1.36x 1.36)+ 2(1.36 x 2.76) + 2 (1.36 x 2.76)

A= 18.69 m^2

Se procederá a calcular la resistencia en la plancha de acero A 36.

$$R_5 = \frac{50.2X\ 18.69}{2.76}$$

$$R_5 = 2.94 \frac{w}{m^2\ °k}$$

Cálculamos la resistencia total.

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

Ecuación 60. *Resistencia total.*

$$R_T = 0.013 + 0.4 + 3.15 + 0.383 + 2.94$$

$$R_T = 6.89 \frac{w}{m^2\ °k}$$

Calor aprovechado por el sistema.

$$q = \frac{T_2 - T_1}{R_T}$$

Ecuación 61. *Calor aprovechado por el sistema*

$$q = \frac{1559.15 \ - 293.15}{6.89}$$

$$q = 183.74\text{W}$$

3.10 Dimensionado de la cámara secundaria o cámara de post combustión.

La cámara secundaria estará situada en la parte superior de la primera. Su función será recepcionar y descomponer los residuos de la combustión de la primera cámara, por tanto su estructura será diseñada para dar fluidez a los gases que viajan hacia los ductos logrando la disminución de calor y posteriormente dar paso hacia el ciclón. La altura coincidirá con la de la cámara principal. Además, tendrá un orificio que servirá para acoplar el quemador, con este temodo serán descompuestos los gases y también expulsados sin obstrucciones.

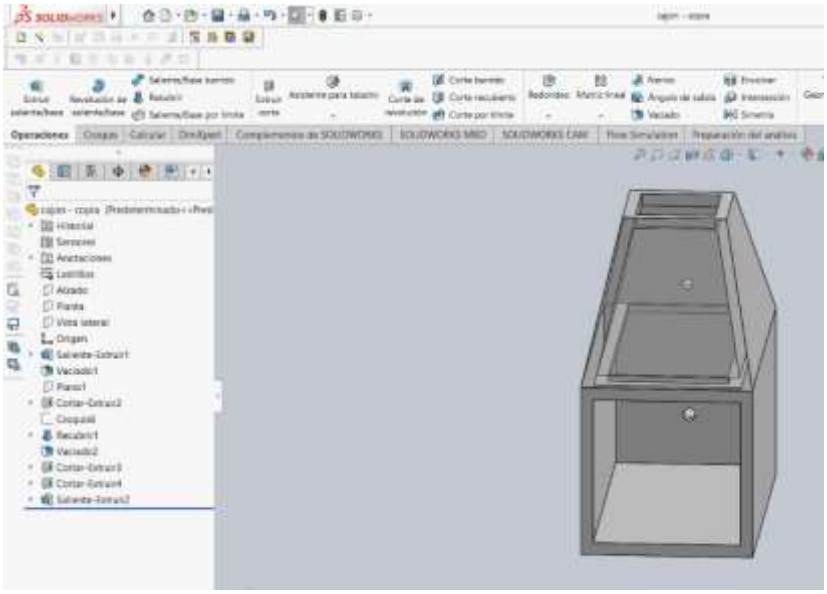


Figura 12. *Dimensionamiento de la segunda cámara*

Fuente Elaboración Propia, (2020)

3.10.1 Cálculo de transferencia de calor en la segunda cámara.

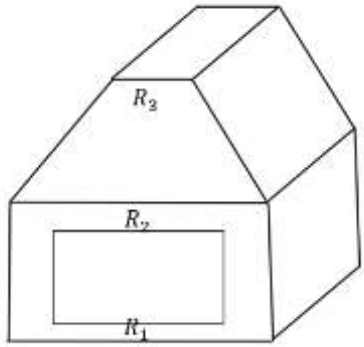


Figura 13 *Resistencia térmica*

$$R_T = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Entonces:

$$R_2 = \frac{k\,A(T_2 - T_1)}{L}$$

Ecuación 62. *Transferencia de calor en la segunda camara.*

$$R_2 = \frac{0.47(1{,}00)(1723.15 - 293.15)}{2.60}$$

$$a = 82.5\ \frac{w}{m^2\ °K}$$

Para la segunda cámara se hallará la resistencia de convección.

$$R_3 = \frac{1}{0.024(1.00)}$$

$$R_3 = 41.67\ \frac{w}{m^2\ °K}$$

Se calculará el calor aprovechado por el sistema en la segunda cámara:

$$q_2 = \frac{T_2 - T_1}{R_T}$$

Ecuación 63. *Calor aprovechado en la segunda cámara.*

$$q_2 = \frac{1559.15}{\frac{1}{6.89} + \frac{1}{82.5} + \frac{1}{41.67}}$$

$$q_2 = 6984.55$$

Cálcularemos la temperatura que se encuentra en la segunda cámara, teniendo en cuenta la temperatura en la parte superior de la primera cámara.

La temperatura sería de $\mathbf{1559.15}$ °K (1286 °C). Y se utilizaría la interpolación y las tablas de transferencia de calor.

Tabla 14. Conductividad térmica aire a una temperatura de 1286° C

Temperatura (°C)	Conductividad térmica
1000	0.7894
1286	$K_{T=1286°C}$
1500	0.10458

Fuente: Transferencia de calor, Cengel. (2004)

Hallando cada caracteristica del monóxido de carbono con temperaturas de 1286°C. También se hallando la densidad del monóxido, utilizando la tabla.

$$\frac{1500 - 1000}{1286 - 1000} = \frac{0.10458 - 0.7894}{0.10458 - K_{T=1286ºC}}$$

$$1.74 = \frac{0.02564}{0.10458 - K_{T=1286\ ºC}}$$

$$K_T = 1286\ ºC = -\frac{0.02564}{1.74} + 0.10458$$

$$K_T = 863.69\ ºC = 0.0899\, J/Kg.K$$

Se realizará la temperatura en la entrada de la segunda cámara:

$$T_3 = (Q\ \ x\ R_T) - T_2$$

Ecuación 64. *Temperatura de entrada de la segunda cámara.*

T_3= (6984.55x 0.181)-971.05

T_3= 971.05 °k

3.11 Determinación de la bomba de agua.

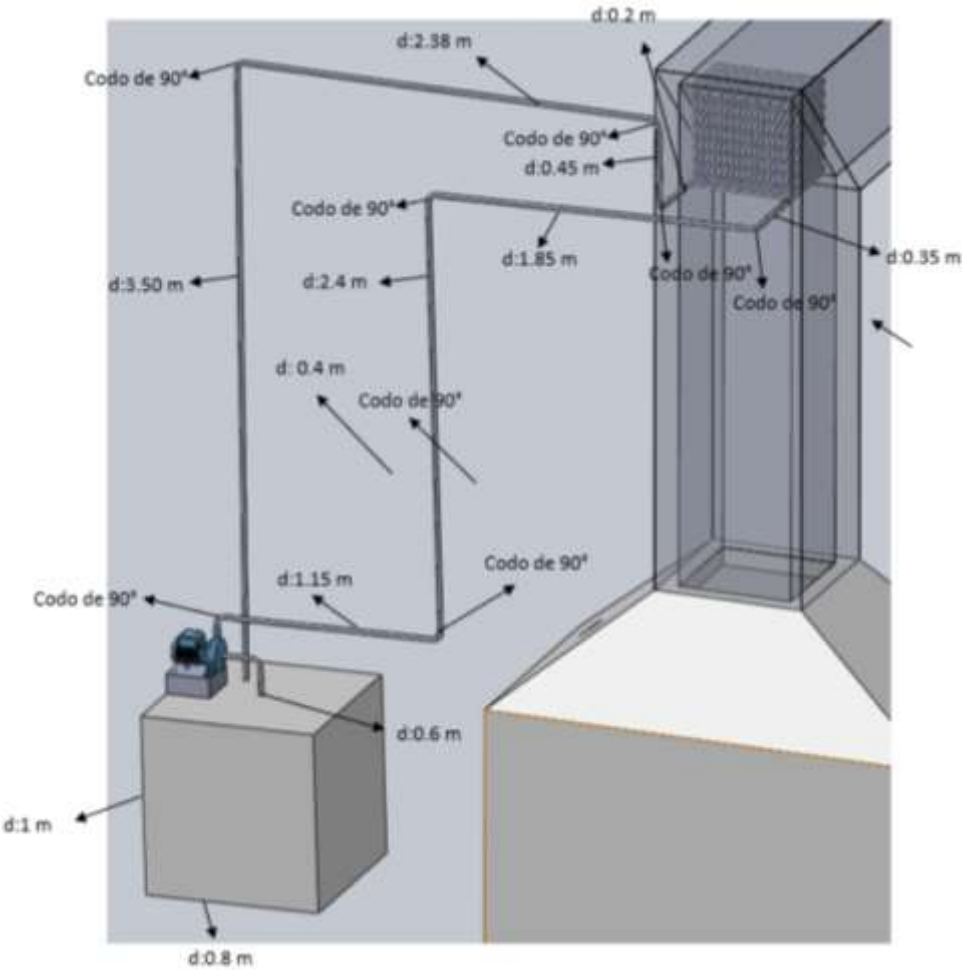


Figura 13. *Bomba de agua.*

Fuente: Elaboración propia

Para consolidar este proceso se propone seguir las produndidas mas pequeñas tal y como es la aspiración, como se muestra en la tabla 16.

Tabla 15. Profundidades mínimas.

Velocidad (m)	**Sugerencia**
0,6	0,30
1,5	0,60
2,1	0,90
3,3	2,10
4,5	4,20

Fuente Mecanica de Fluidosm, Mott (2003)

Se calculará el caudal:

$$\mathrm{Q} = \mathrm{V} + A$$

Ecuación 65. *Caudal*

Donde:

Q = Caudal ((m^3/seg))

V = Velocidad (m)

A = Área de la sección interna.

Entonces se calculará la tubería por seccion en la parte interna.

$$\mathrm{A} = \frac{\pi D^2}{4}$$

Ecuación 66. *Tubería por secciones.*

$$\mathrm{A} = \frac{\pi\ (0{,}0254)^2}{4}$$

$$\mathrm{A} = 5{,}067 \text{ x } 10^{-4}$$

Calculamos el caudal:

$$Q = 1{,}5 \text{ x } 5{,}067 \text{ x } 10^{-4}$$

$$Q = 7{,}60 \text{ x } 10^{-4} m^3/seg$$

Para hallar la altura manometrica:

$$H = H_g + P_c + 10\ x\ \frac{Pi - Pa}{r}$$

Ecuación 67. *Altura manométrica.*

Hg = Es la altura geométrica que debe vencer el fluido (m)

Pc = Es la pérdida de carga del fluido a su paso por la tuberia, valvúla, etc. (m).

$\frac{Pi-Pa}{r}$ = Es la presión diferencial existente entre las superficies del liquído en la impulsión.

Y la aspiración de la bomba entre el peso específico.

Tuberia de aspiración: Se procederá a calcular la perdida de carga.

Pérdidas secundarías:

$$h_s = K\ \frac{V^2}{2g}$$

Ecuación 68. *Péridas por accesorios.*

K = Coeficiente de accesorios.

V = Velocidad (m)

g = Graverdad (m/seg)

De la tabla 17 , se obtendra el coeficiente.

Tabla 16. Perdidas Secundarias.

Accesorio	Valor de K
Válvula esférica, totalmente abierta	10
Válvula de ángulo, totalmente abierta	5
Válvula de retención de charneta	2,5
Válvula de pié con colador	0,8
Válvula de compuerta, totalmente abierta	0,19
Codo de retroceso (codo en U)	2,2
Empalme en T normal	1,8
Codo de 90° normal	0,9
Codo de 90° de radio medio	0,75
Codo de 90° de radio grande	0,60
Codo de 45°	0,42

Fuente Mecanica de Fluidosm, Mott (2003)

$$h_s = \frac{0{,}90\ (1{,}5)^2}{2(9{,}81)}$$

$$h_s = 0{,}10321\ m$$

Para perdidas secundarias :

$$h_l = \frac{f.L.V^2}{2.g.d}$$

Ecuación 69. *Darcy-Weisbach.*

Se calculará el número de Reynolds:

$$R_e = \frac{V\ x\ d}{v}$$

Ecuación 70. *Reynolds*

Calculamos el caudal:

$$\mathrm{Q} = 1{,}5 \text{ x } 5{,}067 \text{ x } 10^{-4}$$

$$\mathrm{Q} = 7{,}60 \text{ x } 10^{-4} m^3/seg$$

Se calculará el número de Reynolds:

$$R_e = \frac{V\ x\ d}{v}$$

$$R_e = \frac{1{,}5\ x\ 0{,}0254}{1{,}08\ x\ 10^{-6}}$$

$$R_e = 35277{,}78 \text{ (flujo turbulento)}$$

Para las tuberias se utilizará el acero galvanizado que tiene una rugosidad absoluta de 0,15.

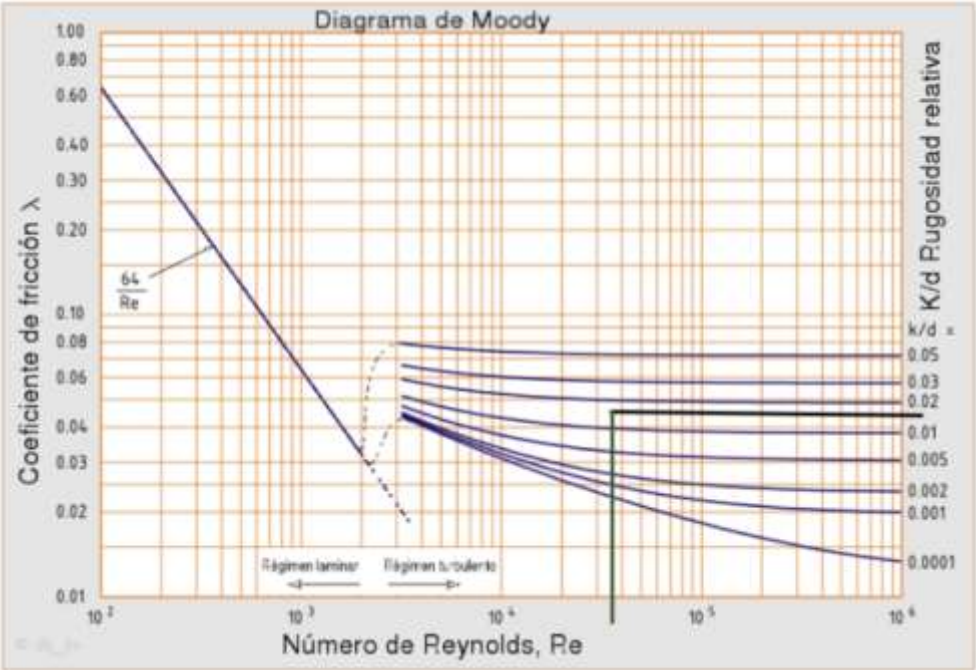
Tabla 17. Coeficiente de rugosidad.

Material	Coeficiente de Manning n	Coef. Hazen-Williams C_H	Coef. Rugosidad Absoluta e (mm)
Asbesto cemento	0.011	140	0.0015
Latón	0.011	135	0.0015
Tabique	0.015	100	0.6
Fierro fundido (nuevo)	0.012	130	0.26
Concreto (cimbra metálica)	0.011	140	0.18
Concreto (cimbra madera)	0.015	120	0.6
Concreto simple	0.013	135	0.36
Cobre	0.011	135	0.0015
Acero corrugado	0.022	--	45
Acero galvanizado	0.016	120	0.15
Acero (esmaltado)	0.010	148	0.0048
Acero (nuevo, sin recubrim.)	0.011	145	0.045
Acero (remachado)	0.019	110	0.9
Plomo	0.011	135	0.0015
Plástico (PVC)	0.009	150	0.0015
Madera (duelas)	0.012	120	0.18
Vidrio (laboratorio)	0.011	140	0.0015

Nota : Se tomará el 0.15 como coeficiente de rugosidad absoluta.

Calcularemos la fricción mediante la tabla 19.

Tabla 18. Diagrama de Moody



Nota: Se encontro fricción como resultado F:0.048

Al utilizar la tabla se encontro la fricción dando como resultado F: 0.048

Se procederá a calcular la perdida primaria en las tuberías:

$$h_L = \frac{0.048\ x\ 0.6\ x\ 1.5^2}{2x9.81x\ 0.0254}$$

$$h_L = 0.13$$

Tuberia de impulsión:

Pérdidas primarias.

$$R_e = \frac{1{,}5\ x\ 0{,}0254}{1{,}08\ x\ 10^{-6}}$$

$$R_e = 35277.77 \text{ (flujo turbulento)}$$

Al usar la tabla Nº 19, confirmamos que el flujo de las perdidas primarias es turbulento.

Al utilizar la tabla se hallan los resultados de la fricción, F:0,048.

Entonces, sumamos las longitudes de las tuberías.

$$L = 2{,}40 + 1{,}5 + 1{,}85 + 0{,}35 + 149{,}04 + 0{,}20 + 0{,}45 + 2{,}38 + 3{,}50$$

$$L = 161{,}67\ m$$

Se calculará la perdida primaria:

$$h_L = \frac{0{,}048(161{,}67)(1.5)^2}{2(9{,}81)(0{,}0254)}$$

$$h_L = 35{,}04\ m$$

Pérdidas secundarias:

hs = Accesorios 180º + accesorios codos 90 º

$$h_s = 248(0{,}2\left(\frac{(1{,}5)^2}{2(9{,}81)}\right)) + 7(0{,}3\left(\frac{(1{,}5)^2}{2(9{,}81)}\right))$$

$$h_s = 284(0{,}023) + 7(0{,}034)$$

$$h_s = 6{,}53 + 0{,}23$$

$$h_s = 6{,}77 \text{ m}$$

Calculamos la altura geodesica:

$$H_g = 2{,}40 + 0{,}52499$$

$$H_g = 2{,}93\ m$$

Calculamos las perdidas de altura en la tubería:

$$H_{perdidastuberis=}\ P_{aspiración} + P_{impulción}$$

Ecuación 71. *Suma de perdidas en tuberias.*

$$H_{perdida\ de\ tubería} = (0{,}103 + 0{,}13) + (35{,}04 + 6{,}77)$$

$$H_{perdida\ de\ tubería} = 42{,}04\ m$$

Se procederá a calcular la altura dinamica de la bomba:

$$H_{total} = H_{geodesica} + H_{perdida\ de\ la\ tubería}$$

Ecuación 72. *Altura dinámica de la bomba.*

$$H_{total} = 2{,}93 + 42{,}04$$

$$H_{total} = 44{,}97\ m$$

3.11.1 Análisis de la potencia de la bomba.

$$\mathrm{P} = \frac{H_T\ .P.g.Q}{\eta}$$

Ecuación 73. *Potencia de la bomba*

P = (Hp)

Ht = Altura dinamica de la bomba (m)

P = Densidad del agua

Q = Caudal (m^3/seg)

n = Eficiencia

Se procederá a calcular:

$$P = \frac{(44{,}97)(998{,}29)(9{,}81)(7{,}60\ x\ 10^{-4})}{0{,}7}$$

$$P = 478{,}15\ W$$

$$P = 0{,}478\ kW$$

$$P = \frac{P_B}{0{,}9} = \frac{0{,}478}{0{,}9}$$

$$P_m = 0{,}53\ kW$$

$$P_m = 0{,}71\ HP$$

3.12 Cálculo de intercambiador de calor a contraflujo

Se medirán los valores del aire de acuerdo a la temperatura del intercambiador de calor del área superior del mismo.

$$A_s = (\pi\ D\ L\ )\ \eta$$

Ecuación 74. *Temperatura del intercambiador de calor*

AS = Área superficial de transferencia de calor

D = diametro tuberia

L = longitud

Entonces:

$$A_s = (\pi(0{,}0254)(0{,}5175\ x\ 288))$$

$$A_s = 0{,}7434$$

Definir cual es la capacidad calorifica del fluido caliente y frío.

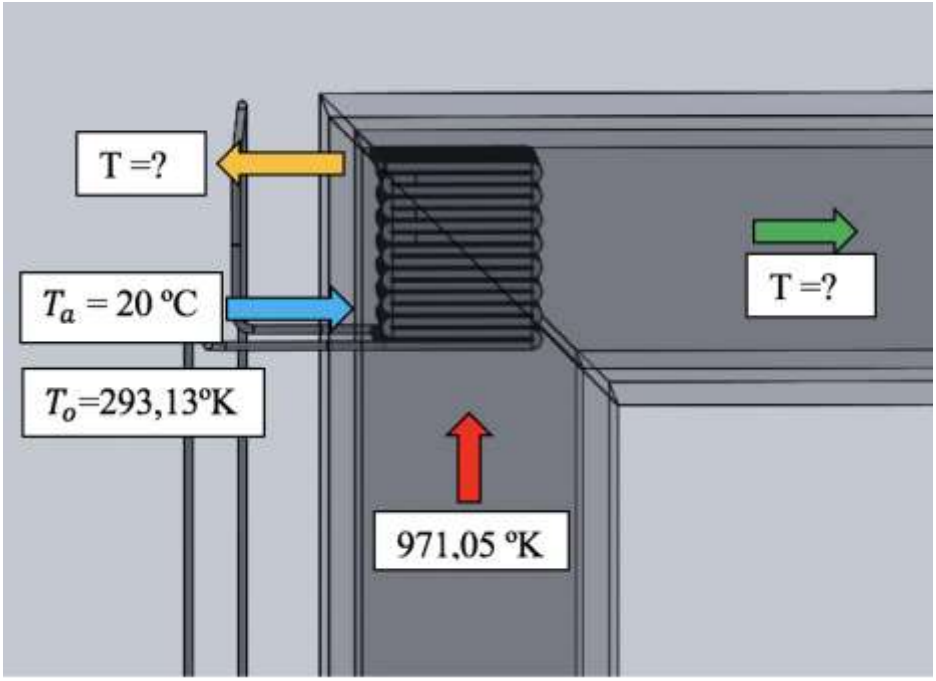


Figura 14. *Intercambiador de calor.*

Fuente: Elaboracón propia

Entonces:

$$mc_p = e\ v$$

Ecuación 75. *Capacidad calorífica*

e = densidad del agua

v = velocidad.

$$mc_p = \frac{1000kg(1{,}5)}{m}\ \left(\frac{\pi(0{,}0254)^2}{4}\right)$$

$$mc_p = \frac{1000kg}{m}\ (7{,}60\ x\ 10^{-4})$$

$$mc_p = 0{,}76\ {}^{kg}/_{seg}$$

$$C_c = m_c \,.\, C_{pc}$$

$$C_{ph} = m_h \,.\, C_{ph}$$

C_c = Razón de la capacidad calorifica del fluido frío.

C_h = Razón de capacidad calorifica de flujo .

m_c = masa de agua de fría.

m_{ph} = masa del aire caliente.

$$C_c = m_c \,.\, C_{pc}$$

Ecuación 76. *Razón de la capacidad calorifica del fluido frío.*

$$C_c = 0{,}76\,{}^{kg}/_{m}\ (4{,}18\ {}^{kg}/_{m})$$

$$C_c = 3{,}179\,\frac{kW}{ºC}$$

Despejando la ecuación:

$$Q = \left[m_{cp}(T_{in} - T_{out})\right]$$

$$6{,}98455 = \dot{m}_{cp}\,(971{,}05\ ºK - 393{,}15ºK)$$

$$6{,}98455 = \dot{m}_{cp}\,(577{,}9)$$

$$\dot{m}_{cp} = \frac{6{,}98455}{577{,}9}$$

$$\dot{m}_{cp} = 0{,}012$$

Se calculará la capacidad calorífica del fluido caliente:

$$C_h = m\,C_{ph}$$

Ecuación 77. *Capacidad calorifica del fluido caliente*

Se hallará el calor especifico a una temperatura de 971.05 °K (697.9 °C)

Tabla 19. *Propiedades del aire a una temperatura de 697.9° C*

Temperatura(°C)	Calor especifico (J/ Kg K)
500	1135
697.9 °C	$\rho_{T=\,697.9\,°C}$
1000	1226

Fuente: Transferencia de calor, Cengel. (2004)

ρ_T = 697.9 ºC : Calor especifico a una temperatura de 697.9 ºC

Cálculamos cada parámetro para las propiedades del monónxido de carbono utilizando una temperatura de 697.9ºC.

Se halla la densidad, mediante la tabla 20.

$$\frac{1000-500}{100-697.9}=\frac{1226-1135}{1226-\rho_{T=69.9\,ºC}}$$

$$1.65=\frac{91}{1226-\rho_{T=69.9\,ºC}}$$

$$\rho_T=863.69ºC=\frac{91}{1.65}+1226$$

$$\rho_T = 863.69ºC = 1170.85\ {}^{J}/_{Kg.K}$$

Reemplazamos en la ecuación:

$$C_h = m\ C_{ph}$$

$$C_h = 0{,}012\ x\ 1170{,}85$$

$$C_h = 14{,}05$$

Se procederá a calcular la relación de capacidad:

$$C = \frac{C_{min}}{C_{max}} = \frac{3{,}179}{14{,}05} = 0{,}23$$

Se calculará la razón de transferencia de calor:

$$Q_{max} = C_{min}\ (T_{h,entrada} - T_{c,entrada})$$

C_{min} = Es el menor dentro C_H y C_c

$T_{h,entr}$ = Temperatura caliente en la entrada.

$T_{c,entr}$ = Temperatura fría en la entrada.

Reemplazamos:

$$Q_{max} = 3{,}179\ x(971{,}05 - 293{,}15)$$

$$Q_{max} = 2155{,}04\ kW$$

Se calculará cuanto es el porcentaje de transferencia. (NTU)

$$Q_{max} = \frac{V\ A_s}{C_{min}}$$

$$\boldsymbol{Ecuación\ 78}.\ Transferencia\ de\ calor\ total.$$

V = Coeficiente de transferencia de calor total $^{w}/_{m^2}$

A_S = Área superficial (m^2)

NTU= Cálculo del coeficiente de transferencia de calor total.

$$NTU = \frac{Q}{A_i\ FDT_{m,cf}}$$

Donde:

$$A_{\mathrm{T1}} = T_{h,entr} - T_{c,sal}$$
$$A_{T1} = 697{,}9 - 190$$
$$A_{T1} = 507{,}9$$

$$A_{\mathrm{T2}} = T_{h,sal} - T_{c,entra}$$
$$A_{T2} = 520 - 20$$
$$A_{T2} = 500\ ºC$$

Se procederá a calcular la tubería en torno a las razones P y R y también los intercambiadores de flujo cruzado y de casco.

$$P = \frac{T_2 - T_1}{T_1 - T_i} \quad y \quad R = \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_1}$$

$$P = \frac{520 - 697{,}9}{20 - 697{,}9}$$

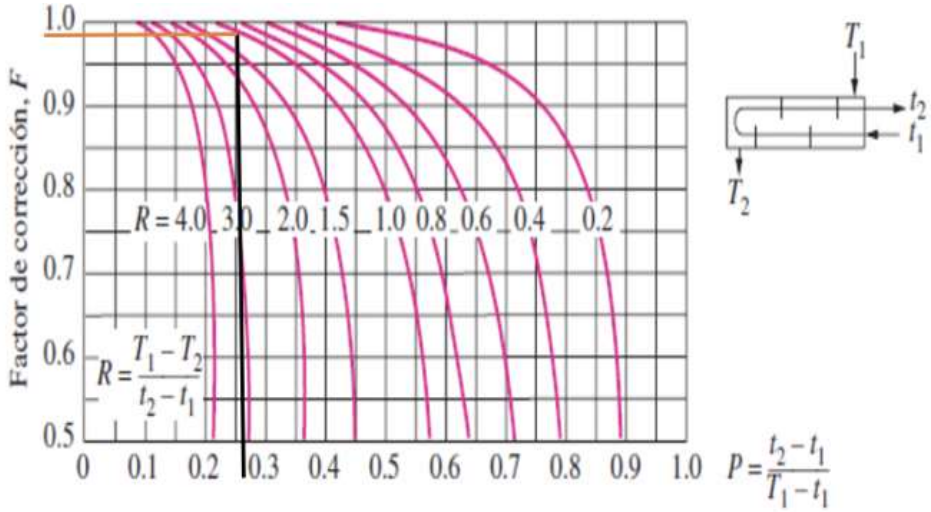
$$P = 0{,}26$$

$$R = \frac{20 - 190}{520 - 697{,}9}$$

$$R = 0{,}95$$

Al utilizar la tabla de factor de corrección, tenemos el siguiente dato: F = 0,98.

Tabla 20. Factor de corrección



a) Un paso por la coraza y 2, 4, 6, etc. (cualquier múltiplo de 2) pasos por los tubos

Se remplazará y se determinará el coeficiente de calor total.

$$U_i = \frac{Q}{A_i\ F\ At_{imcf}}$$

$$U_i = \frac{2155{,}04}{0{,}7434(0{,}98)} \quad \frac{507{,}9-500}{\ln(\frac{507{,}9}{500})}$$

$$U_i = \frac{2155{,}04}{0{,}699(503{,}97)}$$

$$U_i = 6{,}11\ w/m\ ºC$$

Entonces el NTU del intercambiador será:

$$NTU = \frac{UA_s}{C_{min}}$$

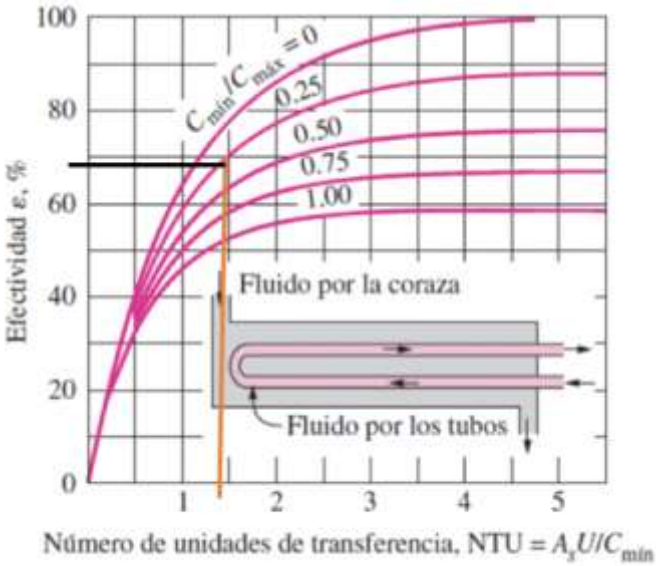
Ecuación 79. *NTU del intercambiador*

$$NTU = \frac{6{,}11\ w/m\ ºC\ (0{,}7434)}{3{,}17}$$

$$NTU = \ 1{,}43$$

Se seleccionará el NTU:

Tabla 21. NTU



c) Un paso por la coraza y 2, 4, 6, . . . pasos por los tubos

$$\varepsilon \ = 0{,}69$$

La transferencia de calor real.

$$Q_{real} = \ \varepsilon \,.\, Q_{max}$$

Ecuación 80*. Transferencia calor real.*

$$Q_{real} = \ 0{,}69\ (2155{,}04)$$

$$Q_{real} = \ 1486{,}98\ kW$$

Se determinará cuales son las salidas del fluido y su debida temperatura.

$$Q = C_c\,(T_{c,sal} - T_{c,entr})$$

$$\boldsymbol{Ecuación\ 81}.\ Corriente\ de\ fluido\ frío\ .$$

$$T_{c,sal} = 20ºC + \frac{1486{,}98}{3{,}179}$$

$$T_{c,sal} = 135{,}85\ ºC$$

$$Q = C_h\,(T_{h,entr} - T_{h,sal})$$

$$\boldsymbol{Ecuación\ 81}.\ Corriente\ de\ fluido\ caliente$$

$$T_{h,sal} = T_{h,entr} - \frac{Q}{C_h}$$

$$T_{h,sal} = 592{,}06\ ºC$$

3.13 Dimensionamiento del ciclón.

Se analizará la velocidad de entrada y asimismo el diseño. Esto nos ayudará a resolver los parámetros planteados en la figura 15.

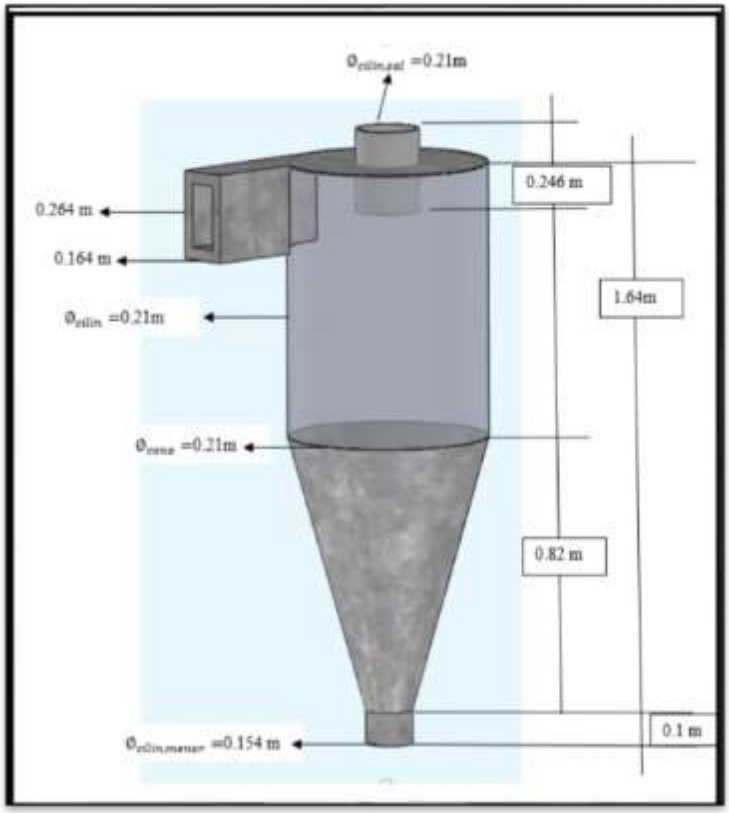


Figura 15. *Dimensiones de ciclón*

Fuente: Elaboración Propia

3.13.1 Área del Ciclón

Sustituimos la ecuación Nº 21:

$$A=\frac{0.0706}{2.15}= 0{,}033$$

Entrada del ciclón

Se medirá con la altura de ingreso del ciclón por el ancho de ingreso del ciclón, haciendo equivalentes los términos del área.

$$D_C = \sqrt{\frac{0{,}033}{0{,}4 \text{ x } 0{,}5}}$$

La altura de ingreso al ciclón

Se sustituirá la ecuación y se hallará la altura de entrada al ciclón:

A= 0,5 (0,41) = 0,21 m

La entrada al ciclón

Se sustituirá la ecuación y se hallará el ancho de la entrada al ciclón.

B: 0,4 (0,41)

B: 0,164 m

Altura de salida del ciclón

Se sustituirá la ecuación y se hallará la altura de salida del ciclón

S= 0,6 (0,41)

S= 0,246 m

Diámetro de salida del ciclón

Sustituyendo la ecuación, para hallar la salida del ciclón.

$D_s =$ 0,5 (0,41)

D_s= 0,21 m

Altura cilíndrica del ciclón

Se sustituirá la ecuación y hallará la altura de la forma cilíndrica del ciclón

h= 2 (0,41)

h= 0.82 m

Altura total del ciclón

Se sustituirá ecuación y se hallará la altura total del ciclón.

H= 4,0 (0,41)

H = 1.64 m

La altura en la parte cónica del ciclón.

Se sustituirá la ecuación y se hallará la altura en la forma cónica del ciclón.

$$Z= 2\ (0{,}41)$$

$$Z = 0.82$$

Se sustituirá la ecuación y se hallará la altura la parte cónica del ciclón.

$$B= 0.375\ (0{,}41)$$

$$B= 0{,}154$$

Velocidad correspondiente hallada para el ciclón

Se seleccionará la tabla Nº 21, ya que está corresponde a la temperatura de entrada del ciclón, con una temperatura de 400ºC.

Tabla 22. Valores del Monóxido de carbono

Monóxido de carbono, CO

−50	1.5297	1 081	0.01901	1.149×10^{-5}	1.378×10^{-5}	9.012×10^{-6}	0.7840
0	1.2497	1 048	0.02278	1.739×10^{-5}	1.629×10^{-5}	1.303×10^{-5}	0.7499
50	1.0563	1 039	0.02641	2.407×10^{-5}	1.863×10^{-5}	1.764×10^{-5}	0.7328
100	0.9148	1 041	0.02992	3.142×10^{-5}	2.080×10^{-5}	2.274×10^{-5}	0.7239
150	0.8067	1 049	0.03330	3.936×10^{-5}	2.283×10^{-5}	2.830×10^{-5}	0.7191
200	0.7214	1 060	0.03656	4.782×10^{-5}	2.472×10^{-5}	3.426×10^{-5}	0.7164
300	0.5956	1 085	0.04277	6.619×10^{-5}	2.812×10^{-5}	4.722×10^{-5}	0.7134
400	0.5071	1 111	0.04860	8.628×10^{-5}	3.111×10^{-5}	6.136×10^{-5}	0.7117
500	0.4415	1 135	0.05412	1.079×10^{-4}	3.379×10^{-5}	7.653×10^{-5}	0.7087
1 000	0.2681	1 226	0.07894	2.401×10^{-4}	4.557×10^{-5}	1.700×10^{-4}	0.7080
1 500	0.1925	1 279	0.10458	4.246×10^{-4}	6.321×10^{-5}	3.284×10^{-4}	0.7733
2 000	0.1502	1 309	0.13833	7.034×10^{-4}	9.826×10^{-5}	6.543×10^{-4}	0.9302

Nota: Se tomará en cuenta de acuerda a la tabla 400ºC para el monóxido de carbono.

$$\rho_{T=400°C} = = 0.5071$$

$$\mu_{T=400°C} = 2.812x\ 10^{-5}$$

Remplazando la ecuación:

$$W=\sqrt[3]{\frac{4(9{,}81)(2{,}812x\,10^{-5}\ )(900-0.5071)}{3\,x\,(0{,}831)^2}}$$

$$W=0{,}782$$

VELOCIDAD DE SATURACIÓN

Sustituyendo la ecuación para hallar la velocidad de saturación.

$$V_s=\frac{4{,}913\,x\,0{,}782x\,0{,}4^{0{,}4}\ x\,0.41^{0{,}067}\,x\,\sqrt[3]{2.15^2}}{\sqrt[3]{1-0{,}4}}$$

$$V_s=4.95$$

Correlación entre velocidades.

$$\frac{Vi}{Vs}=\frac{2.15}{4.95}=0.43$$

Como $\frac{Vi}{Vs}<\ 1{,}36$ de la porción del material**.**

3.13.2 Volumen del ciclón evaluado sobre la salida

Sustituyendo la ecuación, para hallar la velocidad de saturación

$$V_{sc}=\frac{\pi}{4}\,(0{,}246-\frac{0{,}21\,^5}{2})\ \text{x}\ (0.41^2\ -\ 0{,}21^2)$$

$$V_s=0.024\ m^2$$

3.13.3 Longitud normal del ciclón

Sustituyendo la ecuación para hallar la longitud normal del ciclón.

$$L = 2.3\ x\ \ 0{,}21\ x\ \sqrt[3]{\frac{0{,}41^2}{0{,}21\ x\ 0{,}164}}$$

$$L = 0.82 \text{ m}$$

Condición:

$$\text{L} < \text{H} - \text{s}$$

$$0.82 < 1.64 - 0{,}246$$

$$0.82 < 1.39 \text{ m}$$

Está apto para para los requisitos, calculamos el volumen sobre la longitud.

3.13.4 Factores de dimensiones lineales

Sustituyendo la ecuación, para hallar los Factores de dimensiones lineales.

$$K_l = 0{,}41\ (0{,}41 – 0{,}164)\ \text{x}\ \left[\frac{0{,}246 + \mathbf{0.82} - 0.82}{0.82}\right]$$

$$K_l = 0{,}030$$

Volumen del calor evacuado sobre la longitud.

Sustituyendo la ecuación, para hallar el volumen del calor evacuado sobre la longitud.

$$V_r = \frac{\pi}{4}\ \text{x}\ (0{,}41)^2 \text{x}\ (0.82 – 0{,}246) + \frac{\pi}{12}\ \text{x}\ (0.41\text{x}\ (0.82\text{x}0.246\text{-}0.82)\ \text{x}\ \left[1 + \frac{0{,}030}{0{,}41} + \left(\frac{0{,}030}{0.41}\right)^2\right] \text{-}$$

$$\frac{\pi}{4}\ \text{x}\ \ (0.21)^2\ \text{x}\ 0.82$$

$$V_r = \frac{\pi}{4}\ \text{x}\ (0{,}0965) + (-0.05)\ \text{-}0.028$$

$$V_r = 0{,}04$$

3.13.5 Factor volumétrico del ciclón.

Sustituyendo la ecuación, para hallar el factor volumétrico del ciclón

$$K_C = \frac{0.1284 + \frac{0,04}{2}}{(0.41)^3}$$

$$K_C = 2.15 \text{ m}$$

3.13.6 Concordancia entre altura de entrada y el diámetro del ciclón:

Sustituyendo la ecuación, para hallar la relación entre altura de entrada y el diámetro del ciclón.

$$K_a = \frac{0,21}{0.41}$$

$$K_a = 0,51$$

3.13.7. Vinculación de la entrada y el diámetro del ciclón.

$$K_b = \frac{0,164}{0,41}$$

$$K_b = 0,4$$

Factor de configuración

Remplazando la ecuación, para encontrar el factor de configuración

$$G = \frac{8\ (2.15\ )}{(0.51\ x\ 0,4)^2}$$

$$G = 413.3$$

Exponente de Vértice

Remplazando la ecuación, para encontrar el exponente de vértice

$$n = 1\text{-}(1 \text{ x } 0,67 \text{ x } 0,854^{0,14}) \left[\frac{863.69}{283}\right]^{0,3}$$

n = 1- (0,34465) x 1.4

n = 0.52

3.13.8 Tiempo de Relajación

De una fracción de madera con D_{pi} = 100 μ (200 x 10^{-6}m), mediante la ecuación.

$$T_i = \frac{900\frac{k}{m^3}\, x\, (200\, x\, 10^{-6})^2}{18\, (3.11\, x\, 10^{-5})}$$

T_i= 5.27 seg.

3.13.9 Caída de Presión

Definición del número de cabeza de velocidad

Sustituyendo valores la ecuación, para hallar el número de cabeza de velocidad.

$$N_H = 16 \quad x \quad \frac{0{,}21x\ 0{,}164}{0{,}21}$$

N_H= 2.62

Sustituyendo los valores de la ecuación.

$$\Delta P = \frac{1}{2} \text{ x } (\ 0.5071x(\ 2.15)^2)x\ 2.62)$$

ΔP= 3.70 P a

Se planteo el ciclón para almacenar las cenizas de la madera, si en el caso no se quedaron en la primera y en la segunda cámara de combustión, Además, se pondrá un filtro para la purificación de emisiones de gases. Imagen N° 16.

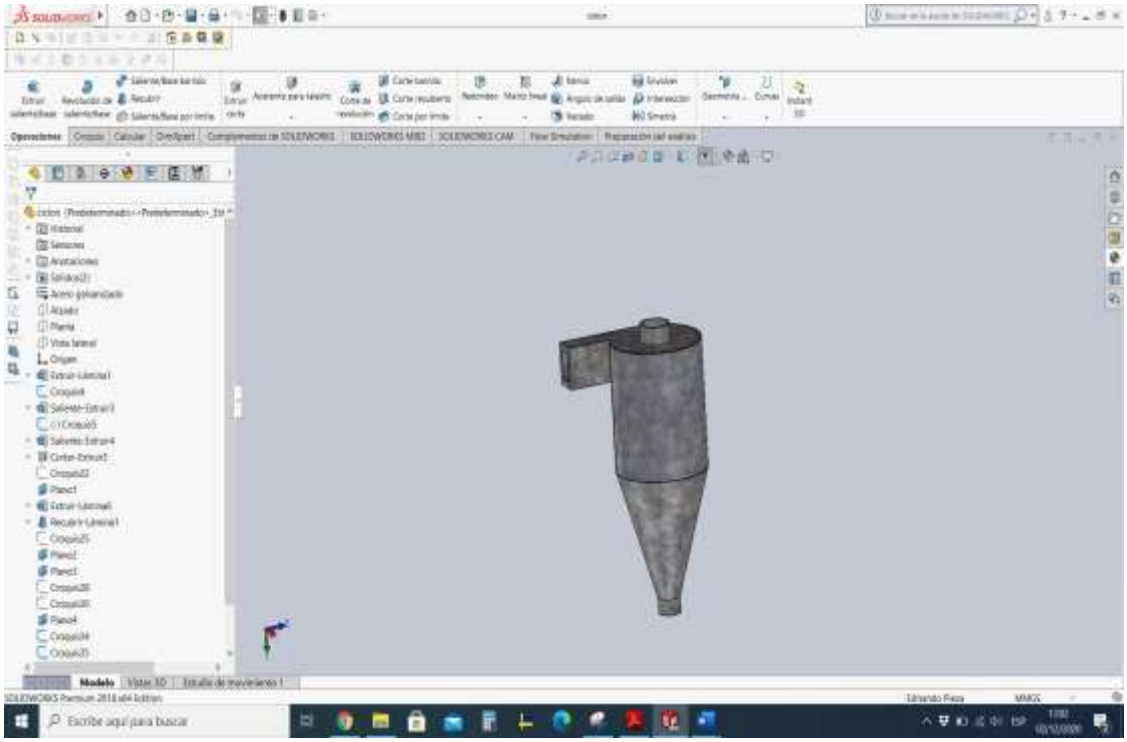


Figura 16. *Diseño del ciclón*

Fuente Elaboración Propia

3.13.10 Cálculo del ciclón.

Circuito térmico.

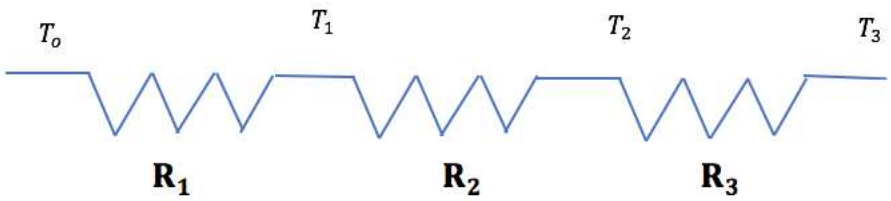


Figura Nº 17 *Circuito térmico.*

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, lo expresaremos de esta forma.

$$R_T = \frac{1}{h_1 A_1} + \frac{L}{K\,A} + \frac{1}{h_2 A_2}$$

Evaluación del total de las áreas para el ciclón.

Para ello se sumarán todas las áreas.

Evaluación del área del cilindro en el ciclón.

Hallándolo en el procedimiento 21:

$$A_{cilin} = 2\,\pi\,(0.427)\,(0.82) + 0.0254 = 3.02\ m^2$$

Evaluación del área del cono en el ciclón.

Sustituyendo los resultados encontrados en el procedimiento 22.

$$A_{cono} = \frac{\pi\,(\,0{,}077^2 x\ \ 01.64)}{3} + 0{,}0254$$

$$A_{cono} = 0.010 + 0.0254 = 0.035\ m^2$$

Evaluación del área del cilindro menor de la salida del aire.

Para hallar el área del cilindro menor. Es necesario utilizar el procedimiento 23.

$$A_{cild,menor} = 2\,\pi\,(0{,}77)\,(0{,}10)\ +\ 0{,}0254$$

$$A_{cild,menor} = 0.484 + 0.0254 = 0{,}51\ m^2$$

En la ecuación 24, se definirá el área rectangular del ciclón.

$$A_{rect,entra} = (0{,}164)\,(0{,}264) + 0{,}0254$$

$$A_{rect,entra} = 0{,}04 + 0{,}0254 = 0{,}0069$$

Se definirá la salida de aire del área del cilindro.

$$A_{cilid,salid} = 2\ (\pi\ (0{,}105)(0{,}246)\ +\ 0{,}0254$$

$$A_{cilid,salid} = 0{,}163 + 0{,}0254$$

$$A_{cilid,salid}\ = 0{,}2$$

En la ecuación 21, se definirá el área total del ciclón.

$$A_T = 3.02 + 0{,}035 + 0{,}51 + 0{,}0069 + 0{,}2$$

$$A_T = 3.77\ m^2$$

En la ecuación 26 se evaluará la resistencia.

$$R_1 = \frac{1}{(5)(3.77)}$$

$$R_1 = 0.053$$

Se evaluará la segunda resistencia, en la ecuación 25.

$$R_2 = \frac{1.64}{(0.046)(3.77)} = 9.45\ \frac{^{o}C}{m^2}$$

Cada una de las áreas será calculará. Y lo podemos plasmar de esta forma, ecuación 28.

$$A_t = 2\pi\ (0.105)(0.82) + \frac{\pi(0{,}077)^2\ (0.1)}{3} + 2x\pi(0.077)(0{,}10) + (0{,}164)\ x\ (0{,}26)$$

$$+2\ (\pi\ (0{,}105)(0{,}246)$$

$$A_t = 0.54 + 0{,}06 + 0{,}04 + 0{,}043 + 0{,}16$$

$$A_t = 0.803$$

Hallando la tercera resistencia, el área total será sustituida en la ecuación.

$$R_3 = \frac{1}{h_{t=112.70}\ x\ A}$$

$$R_3 = \frac{1}{(3.58)\ (0.803)} = 0{,}35$$

Ahora hallaremos la resistencia total del ciclón y así definir la transferencia de calor perdido.

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_t = 0.053 + 9.45 + 0.35$$

$$R_t = 9.85$$

Sustituimos la ecuación y así podemos hallar la transferencia de calor perdido por el sistema.

$$q_{perdi} = \frac{592.06 - 20^{o}C}{9.85}$$

$$q_{perdi} = 58.07\ \frac{^{o}C}{w\ m^2}$$

Se empezará a sustituir los valores hallados de la ecuación y así conseguir el calor útil del sistema.

$$q_{apro.} = 3.58\ X\ 0.803\ (592.06\ -\ 20)$$

$$q_{apro.} = 266.49$$

Hallando el calor útil por el sistema, también se calculará la pérdida total de transferencia de calor.

$$q_{t.} = q_{perd} + q_{aprov.}$$

$$q_{t.} = 9.41 + 266.49$$

$$q_{t.} = 275.90$$

3.14 Simulación del horno crematorio.

Modelado Tridimensional del horno crematorio.

Comprende los procedimientos calculados anteriormente, dos cámaras de combustión, un intercambiador de calor, una bomba y un ciclón.

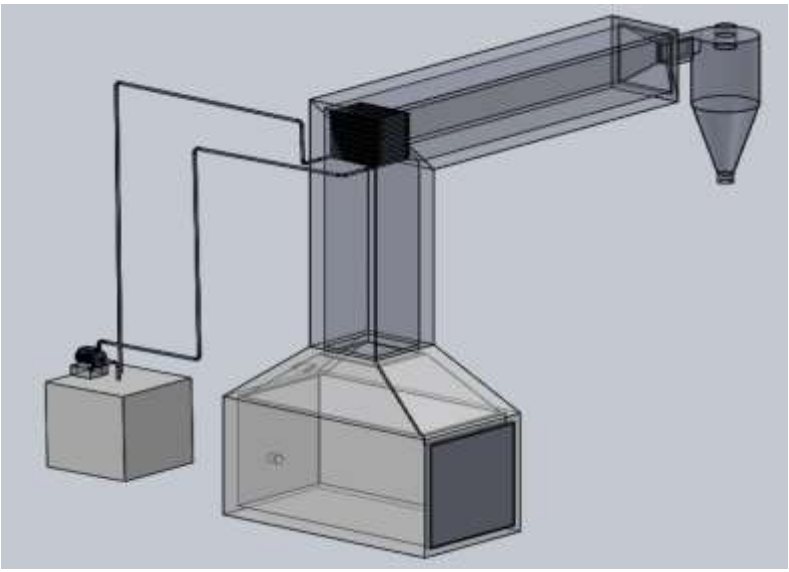


Figura 17. *Modelado tridimensional del horno crematorio*

Fuente: Elaboración propia.

El inercambiador de calor tiene 208 tubos, tiene una tuberia entrada y otra de salida, que es la de retorno a la cisterna de almacenamiento de agua.

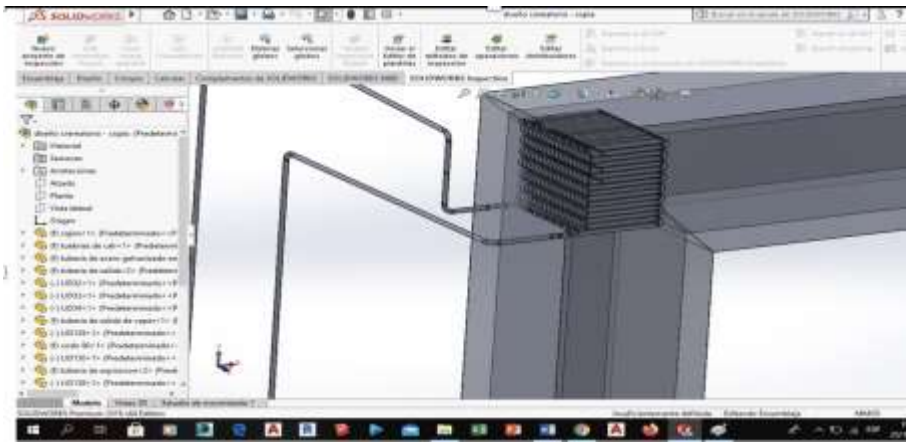


Figura 18. *Número de tubos del intercambiador de calor*

Fuente: Elaboración Propia

3.14.1 Resultados de Análisis SolidWorks

Para la simulación se realizó el primer análisis considerando que el diseño del horno crematorio está sometida a una temperatura de 1723.15 K lo cual se utiliza para cremar a las personas fallecidas.

Este análisis se utilizó para demostrar el comportamiento de la temperatura al fluir por los materiales del diseño. Se ha demostrado que se realiza un buen funcionamiento en el sistema ya que no llega a la descomposion de los materiales utilizados para este diseño, por lo cual se encontrará en óptimas condiciones. Por otro lado a continuación se mostrará los resultados de la simulación en la figura N° 19.

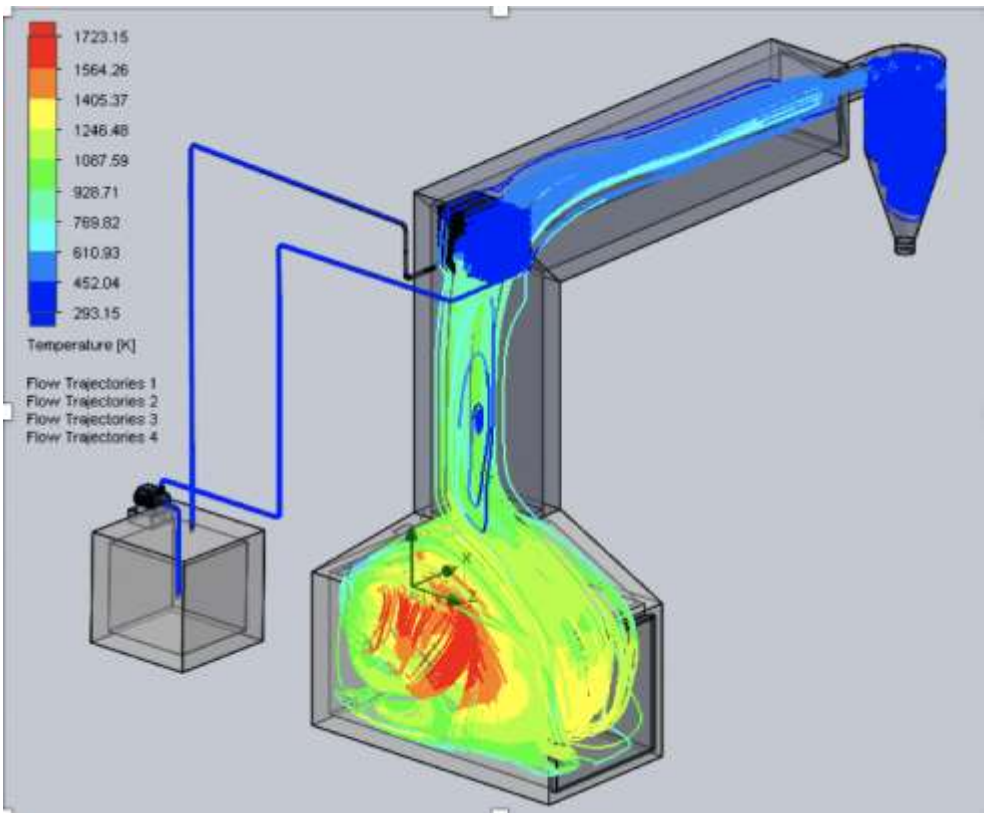


Figura 19. *Resultados de la siimulación.*

Fuente : Elaboración propia.

En la segunda observación, se concretó que dicho diseño del horno se encuentra sometido a una velocidad máxima de 2.44 m/s. En el diseño del intercambiador de calor y también diseño del horno crematorio en la primera cámara es de 0.6 m/s y la velocidad a la salida de la cámara secundaria es de 0.6 m/s . Implica que en tanto los quemadores no se apaguen durante el precalentamiento tendrán la misma velocidad y la misma cantidad de temperatura. Este análisis se utilizó para demostrar el comportamiento de la velocidad en el corrido del diseño. Se ha demostrado que se realiza un buen funcionamiento en el sistema por lo cual se encontrará en óptimas condiciones. Asimismo se pueden apreciar los resultados de la simulación en la figura N°20.

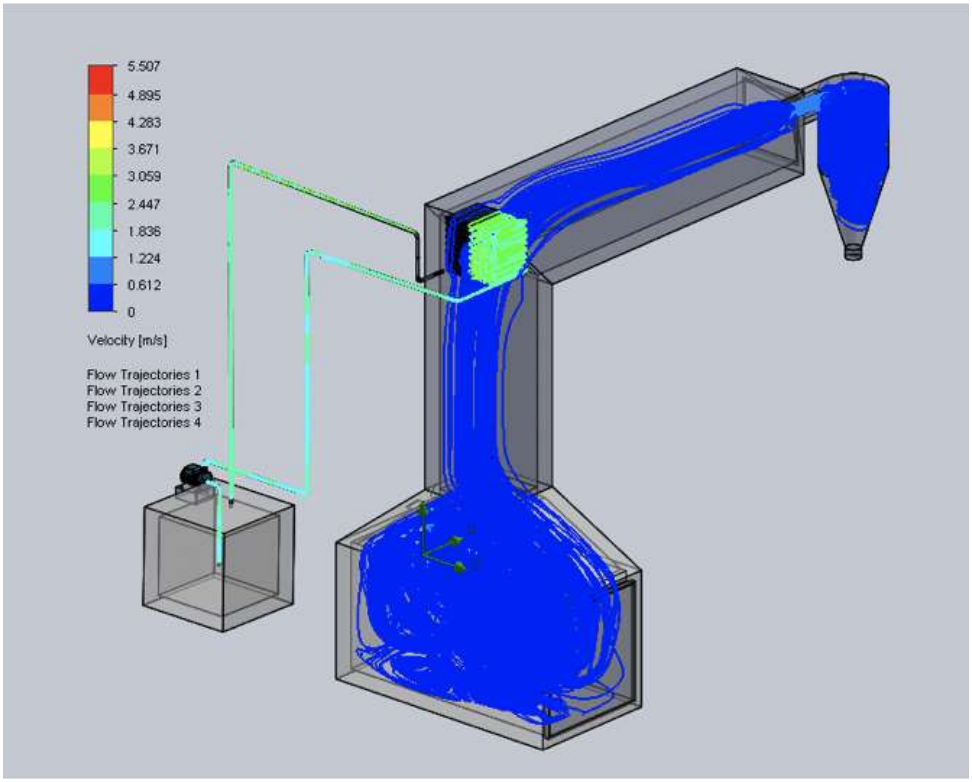


Figura 20. Resultado de temperatura

Fuente Elaboración propia

Se efectuo un tercer análisis y se observa en el diseño la temperatura del fluido como los dos quemadores se encuentra funcionando con la temperatura máxima de 1723.15 °K(1450 °C), por lo cual en el sistema disminuye con el paso del tiempo y llegan a una temperatura de 1359.03 °K(1085.88 °C). Asimismo llega a quemar el cuerpo negro y el ataúd, según los estándares establecidos para la cremación .

Las paredes del exterior del horno se encuentran a una temperatura de 333 °K (60°C), que son óptimas para el diseño. En la parte del intercambiador de calor se obtiene una temperatura máxima 543.61k (270.46°C), que se encuentra en estado de vapor. Este análisis, se utilizó para demostrar el comportamiento del fluido en la parte del horno crematorio y en el sistema del intercambiador de calor por la cual son favorables para el diseño. Asimismo se puede apreciar en los resultados en la simulación, figura N° 21.

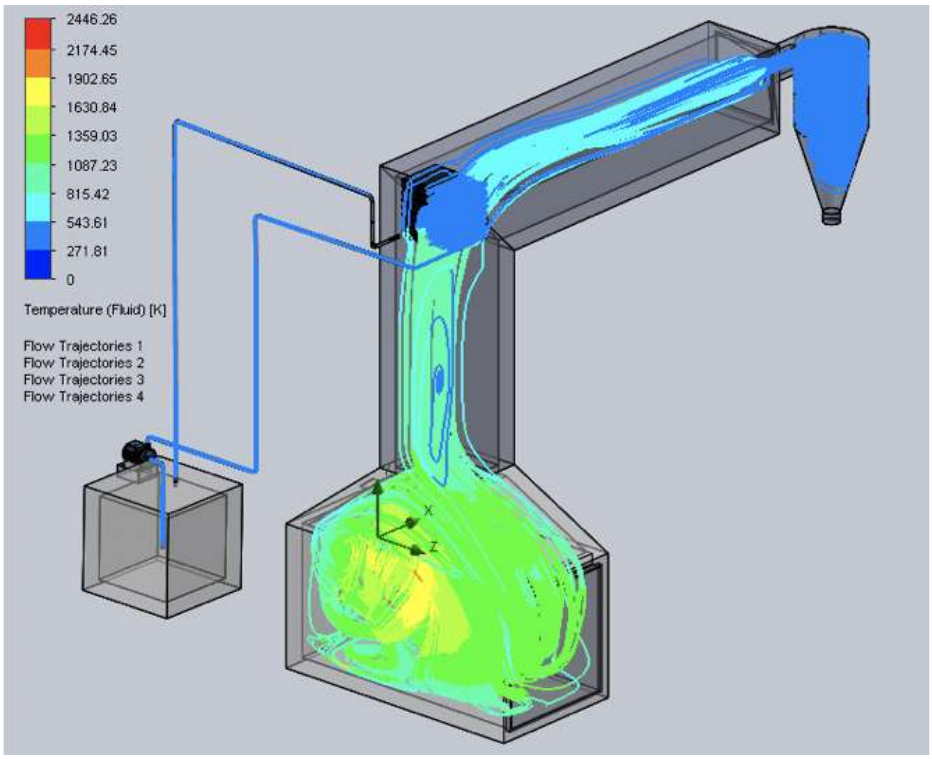


Figura 21. Trayectoria del fluido

Fuente Elaboración propia

Se realizo un cuarto analisis y se observa en el diseño la temperatura de retorno en el intercambiador de calor. Tomando la temperatura de 317.94 °K (44.79°C), siendo esta una temperatura adecuada para el sistema de trabajo del horno, figura 22.

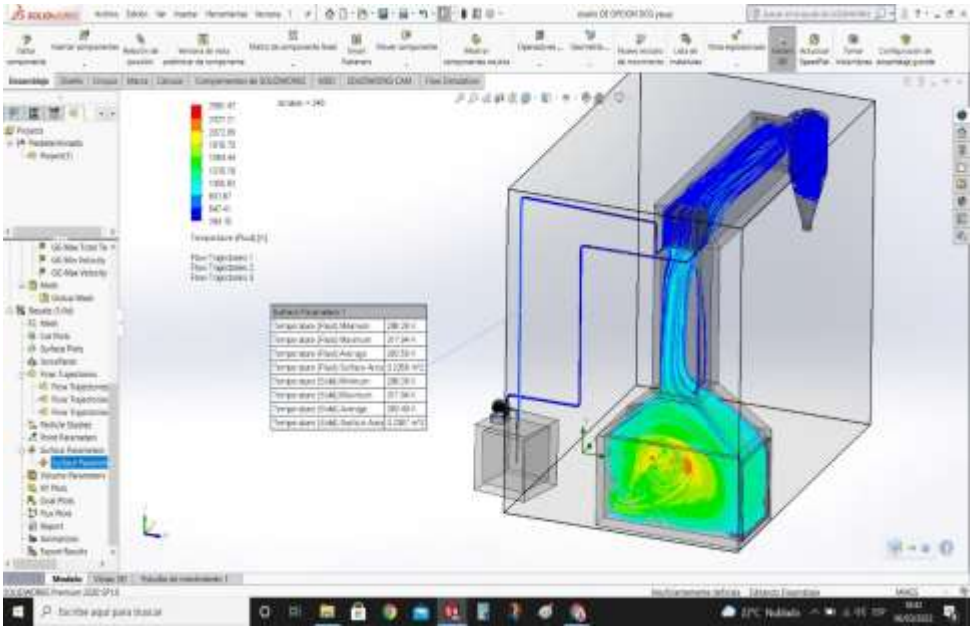


Figura 22. *Retorno del fluido en el intercambiador de calor*

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

En síntesis, se alcanzó ha realizar el proposito fundamental de diseñar un horno crematorio para el manejo de cadaveres por covid-19 en la provincia de chiclayo.

1. Considerando los calculos y todos los componentes, se escogieron los materiales idoneos para un horno crematorio y así lograr su funcionamiento de forma óptima y eficiente, tomando en cuenta que los materiales que esten disponibles en el Perú y provincias. Además, se perfeccionó el sistema de purificación de emisión de gases tóxicos.

2. Considerando, la metodologia VDI 2221 y VDI 2225, se realizó el diseño del horno crematorio, teniendo como referencia los criterios técnicos y económicos, obteniendo de esta manera, las mejores propuestas de solución, para desarrollar el diseño de manera eficiente con un promedio de 0,71 y 0,78 respectivamente.

3. Por ultimo, se manifiesta que el horno crematorio cumple con todos los requerimientos, tanto técnicos como ambientales, proyectados al inicio de la investigación, teniendo la capacidad de llevarse a cabo de 4 a 6 cremaciones diarias sin comprometer los materiales del mismo.

Recomendaciones:

1. Se observaa, efectuar un análisis más minuciosos de todos los elementos vinculados, ya que lo ejecutado en esta investigación ha sido un trabajo autónomo de cada sistema.
2. Se recomienda, no cambiar los materiales y/o accesorios explicados en la investigación de la tesis, puesto que han sido seleccionados gracias al análisis de diversos materiales, siendo estos los más óptimos para la realización del diseño. Considerando los pro y contra de su uso, además de la calidad y resistencia de los mismos, para su correcto funcionamiento.
3. Se recomienda, automatizar el tablero de control de encendido y apagado del horno, para programar el tiempo de cremación.

Referencias:

Cengel, Y. (2011). Transferencia de calor y masa. Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Incropera, F. (1996). Fundamentos de Transferencia de Calor (Cuarta ed.). Mexico: Pearson Educación. doi:ISBN 0-471-30460-3

Mott, R. L. (2006). Mecanica de Fluidos 6/e. Pearson educación.

Real-Olvera, J. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA GENERADA EN DOS TIPOS DE HORNOS LADRILLEROS TRADICIONALES. Evaluación de la calidad del agua de lluvia en el municipio de Atlixco, Puebla..... 2 Utilización de un residuo de MnCO 3 proveniente de un proceso metalúrgico para el tratamiento.

Gómez Díaz, A. (2015). Diseño e instalación de un horno crematorio en una nave industrial.

Manjarres Rodríguez, R. J., & Martínez Sandoval, R. A. (2002). Diseño de un horno crematorio para desechos orgánicos en la Clínica San Jorge y construcción de un prototipo.

Duharte, J. R. A., Ramírez, M. P., & Zulueta, A. F. (2014). Diseño de un incinerador para el cremado de desechos humanos (Doctoral dissertation, Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría).

Garcia Mori, E. A., Uribe Mejía, L. A., & Zanabria Sequeiros, E. P. (2018). Plan de negocios para la implementación de un crematorio de mascotas en Lima Metropolitana.

Rodríguez, E., Castillo, G. A., Contreras, J., Martínez, J. A., Gonzalez, Y., Guzmán, A. M., & Ortiz, L. G. (2011). Desarrollo de un refractario MgO-CaZrO3 dopado con MgAl2O4 para la industria cementera. CIENCIA-UANL, 14(1), 31-38.

Herrera Echevarría, P. (2015). Diseño, modelización y cálculo de un intercambiador de calor de carcasa y tubo.

Cabanzón Labat, J. (2018). Diseño y cálculo de un intercambiador de calor.

Elortegui, I., & Barbosa, M. R. DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA CICLÓN-FILTRO PARA DESEMPOLVADO DE AMBIENTES INDUSTRIALES.

Rendón Valle, J. A. (2017). Análisis de eficiencia energética de los hornos crematorios del cementerio San Pedro.

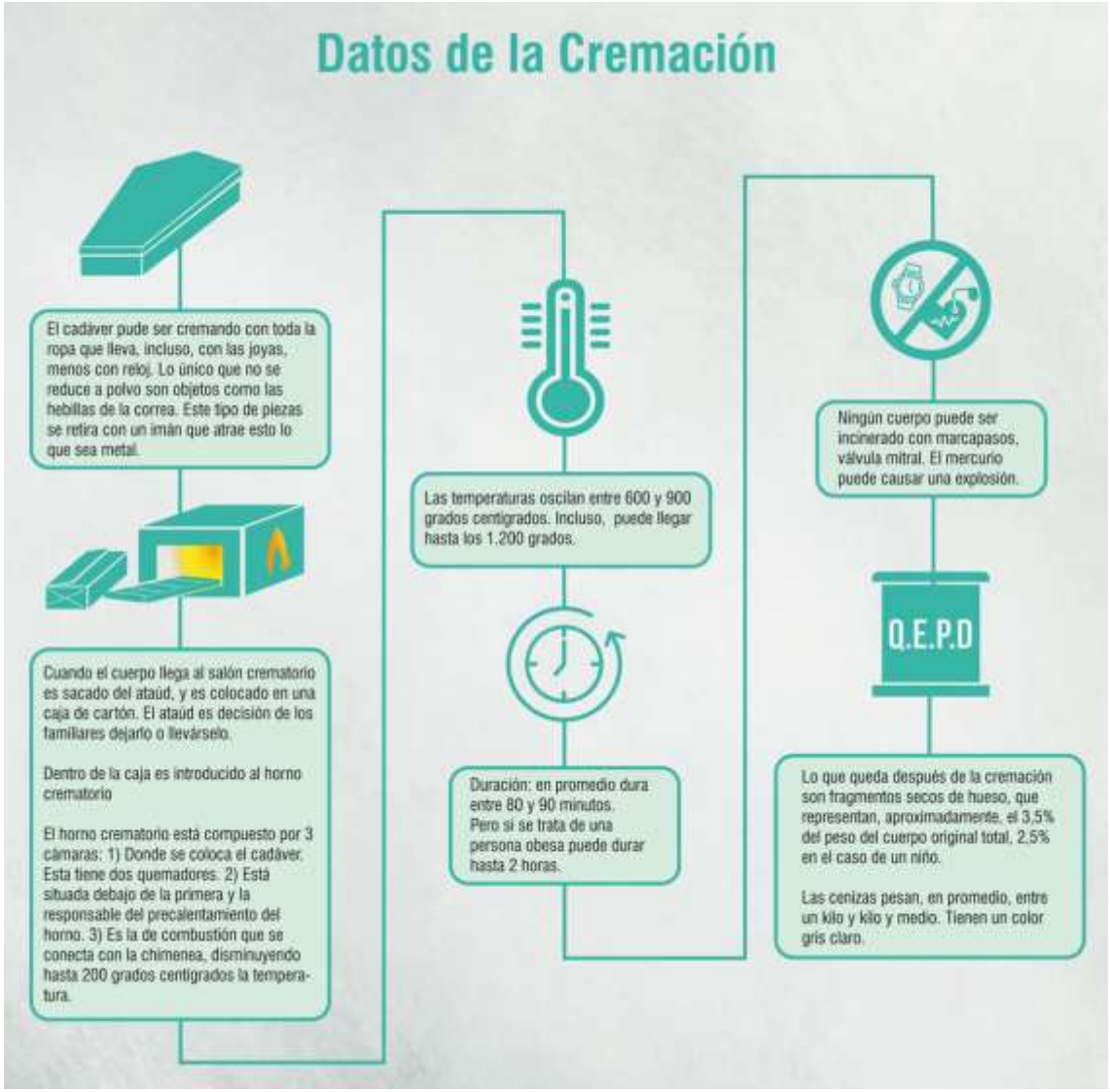
Suárez Bastidas, L. V. (2013). Ahorro Energético en hornos tipo túnel, que operan con GLP (Bachelor's thesis, Quito, 2013.).

Huallpachoque, R. C. C. (2017). Evaluación del cambio de combustible DB5 a GLP para mejorar indicadores energéticos de una caldera de 70 BHP. INGnosis Revista de Investigación Científica, 3(2), 351-364.

Tapia, V., Carbajal, L., Vásquez, V., Espinoza, R., Vásquez-Velásquez, C., Steenland, K., & Gonzales, G. F. (2018). Reordenamiento vehicular y contaminación ambiental por material particulado (2, 5 y 10), dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno en Lima Metropolitana, Perú. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública, 35, 190-197.

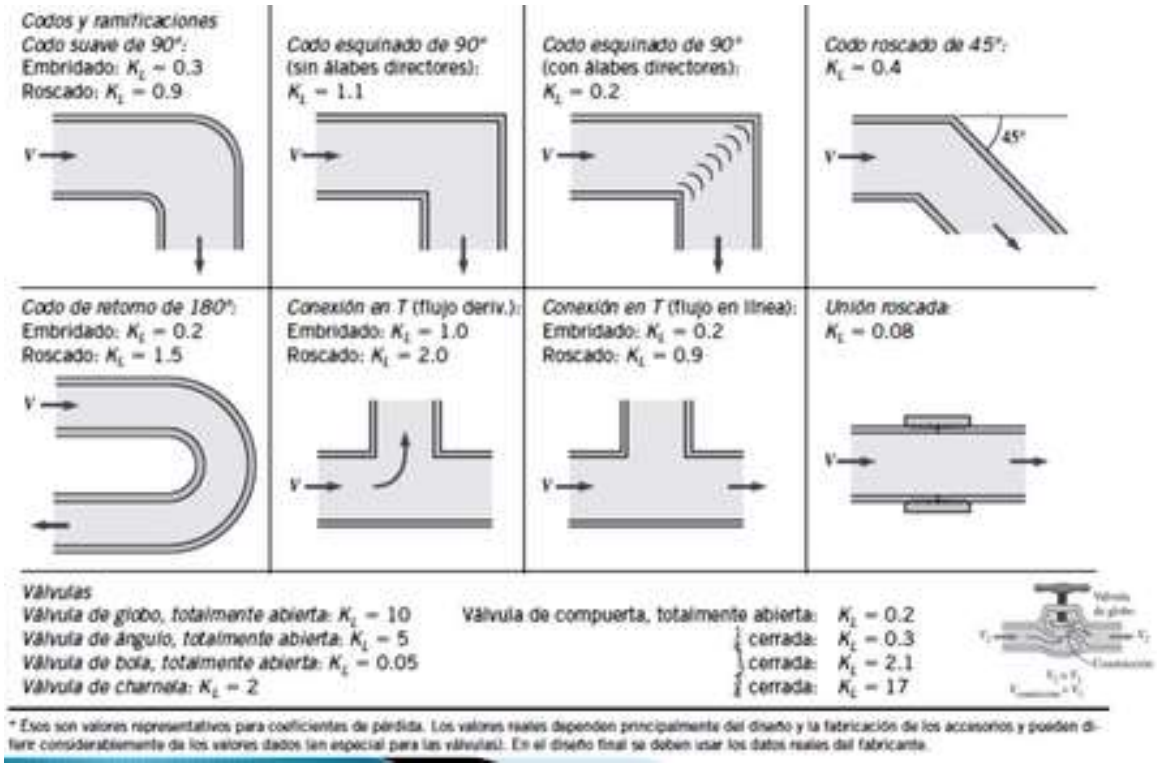
Anexos

Datos de cremación



Anexo 1

Codos y ramificaciones



Anexo 2

Tabla de monoxido de carbono

Monóxido de carbono, CO

−50	1.5297	1 081	0.01901	1.149×10^{-5}	1.378×10^{-5}	9.012×10^{-6}	0.7840
0	1.2497	1 048	0.02278	1.739×10^{-5}	1.629×10^{-5}	1.303×10^{-5}	0.7499
50	1.0563	1 039	0.02641	2.407×10^{-5}	1.863×10^{-5}	1.764×10^{-5}	0.7328
100	0.9148	1 041	0.02992	3.142×10^{-5}	2.080×10^{-5}	2.274×10^{-5}	0.7239
150	0.8067	1 049	0.03330	3.936×10^{-5}	2.283×10^{-5}	2.830×10^{-5}	0.7191
200	0.7214	1 060	0.03656	4.782×10^{-5}	2.472×10^{-5}	3.426×10^{-5}	0.7164
300	0.5956	1 085	0.04277	6.619×10^{-5}	2.812×10^{-5}	4.722×10^{-5}	0.7134
400	0.5071	1 111	0.04860	8.628×10^{-5}	3.111×10^{-5}	6.136×10^{-5}	0.7111
500	0.4415	1 135	0.05412	1.079×10^{-4}	3.379×10^{-5}	7.653×10^{-5}	0.7087
1 000	0.2681	1 226	0.07894	2.401×10^{-4}	4.557×10^{-5}	1.700×10^{-4}	0.7080
1 500	0.1925	1 279	0.10458	4.246×10^{-4}	6.321×10^{-5}	3.284×10^{-4}	0.7733
2 000	0.1502	1 309	0.13833	7.034×10^{-4}	9.826×10^{-5}	6.543×10^{-4}	0.9302

Anexo 3

Valores tipicos de coeficiente de rugosidad

Material	Coeficiente de Manning n	Coef. Hazen-Williams C_H	Coef. Rugosidad Absoluta e (mm)
Asbesto cemento	0.011	140	0.0015
Latón	0.011	135	0.0015
Tabique	0.015	100	0.6
Fierro fundido (nuevo)	0.012	130	0.26
Concreto (cimbra metálica)	0.011	140	0.18
Concreto (cimbra madera)	0.015	120	0.6
Concreto simple	0.013	135	0.36
Cobre	0.011	135	0.0015
Acero corrugado	0.022	--	45
Acero galvanizado	0.016	120	0.15
Acero (esmaltado)	0.010	148	0.0048
Acero (nuevo, sin recubrim.)	0.011	145	0.045
Acero (remachado)	0.019	110	0.9
Plomo	0.011	135	0.0015
Plástico (PVC)	0.009	150	0.0015
Madera (duelas)	0.012	120	0.18
Vidrio (laboratorio)	0.011	140	0.0015

(Fuente: Computer Applications in Hydraulic Engineering, 5th Edition, Haestad Methods)

Valores Típicos de Coeficientes de Rugosidad

Temp. °C	Peso Espec., γ (kN/m^3)	Densidad, ρ (kg/m^3)	Visc.Abs., μ (10^{-3} N-s/m^2)	Visc. Cin., ν (10^{-6} m^2/s)	Pre. Vap., p_v (kN/m^2)*
0	9.805	999.8	1.781	1.785	0.611
5	9.807	1000.0	1.518	1.519	0.872
10	9.804	999.7	1.307	1.306	1.230
15	9.798	999.1	1.139	1.139	1.710
20	9.789	998.2	1.002	1.003	2.34
25	9.777	997.0	0.890	0.893	3.17
30	9.765	995.7	0.798	0.800	4.24
40	9.731	992.2	0.653	0.658	7.38
50	9.690	988.0	0.547	0.553	12.33

*Presión absoluta

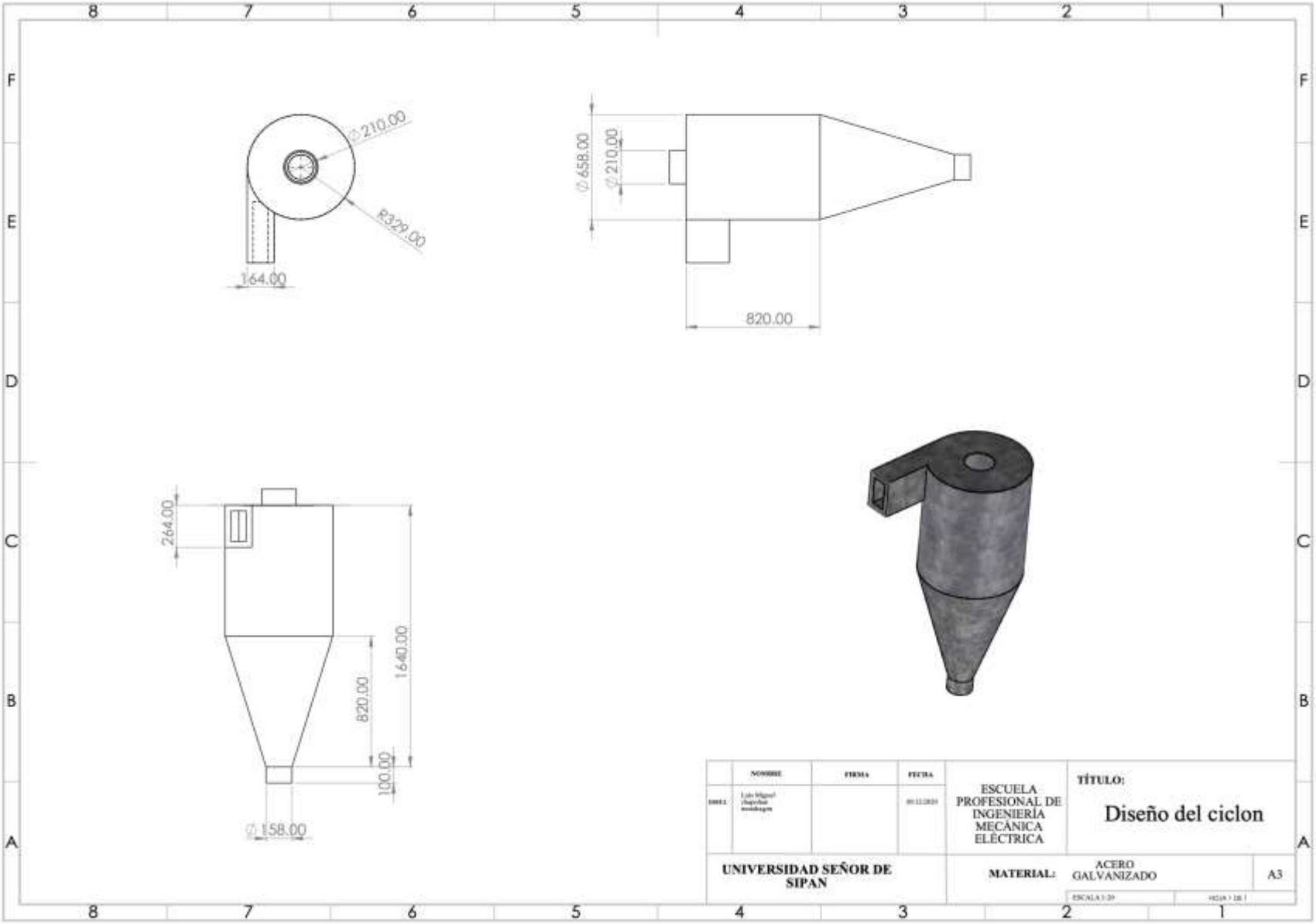
(Fuente: Fluid Mechanics with Engineering Applications, Tenth Edition, McGraw-Hill)

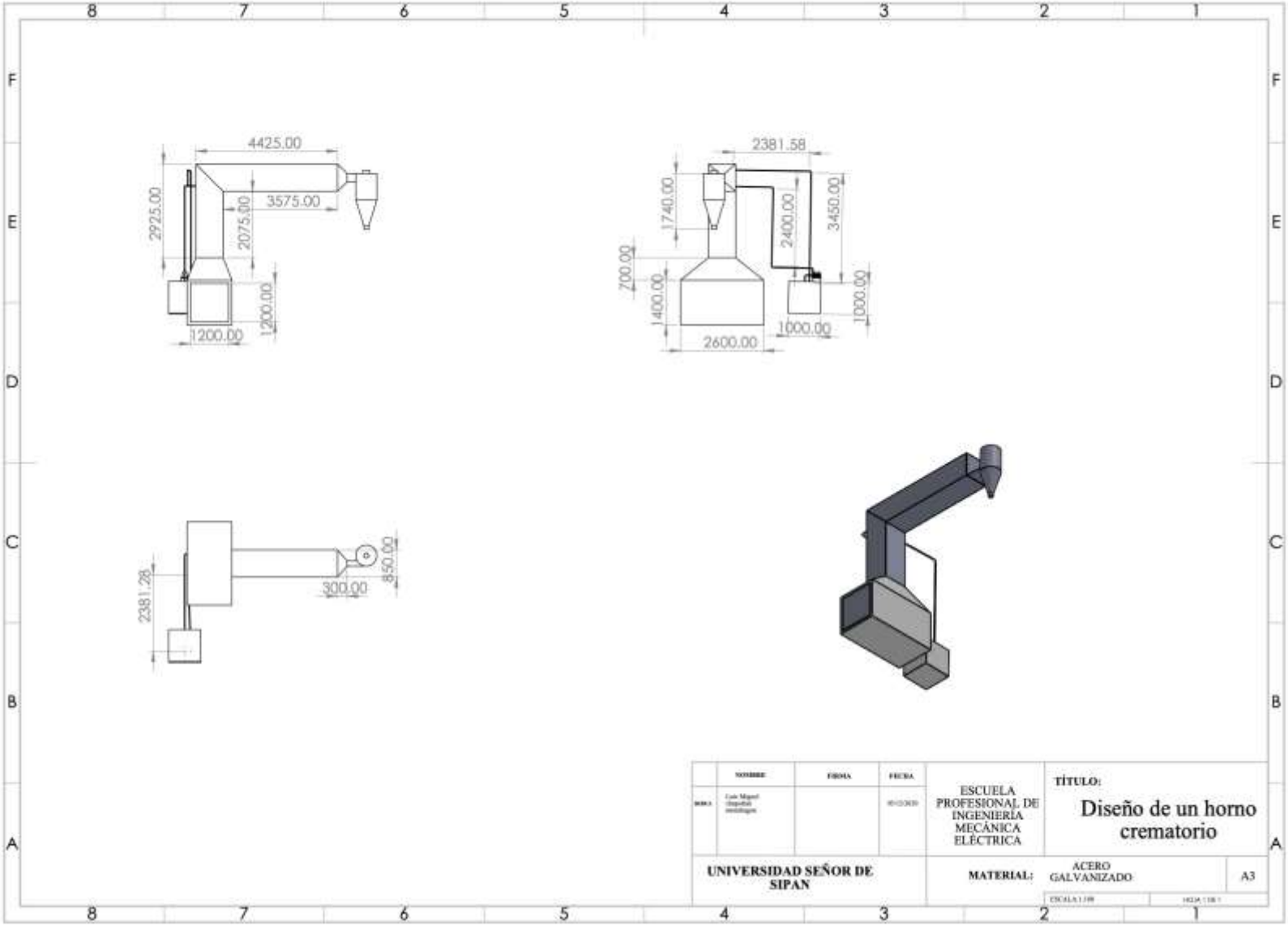
Propiedades físicas del agua para una presión atmosférica estándar al nivel del mar

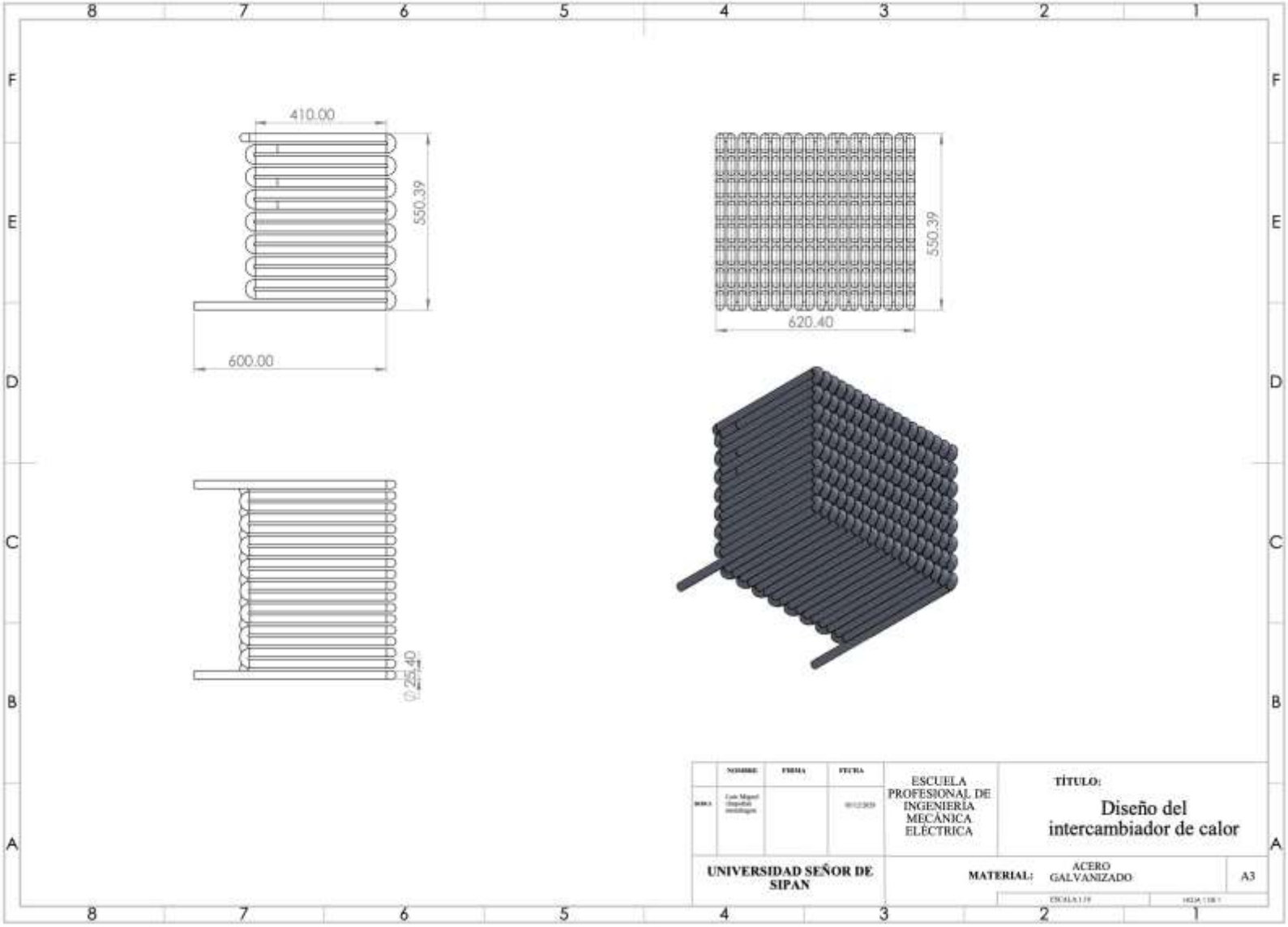
Pérdidas por accesorios.

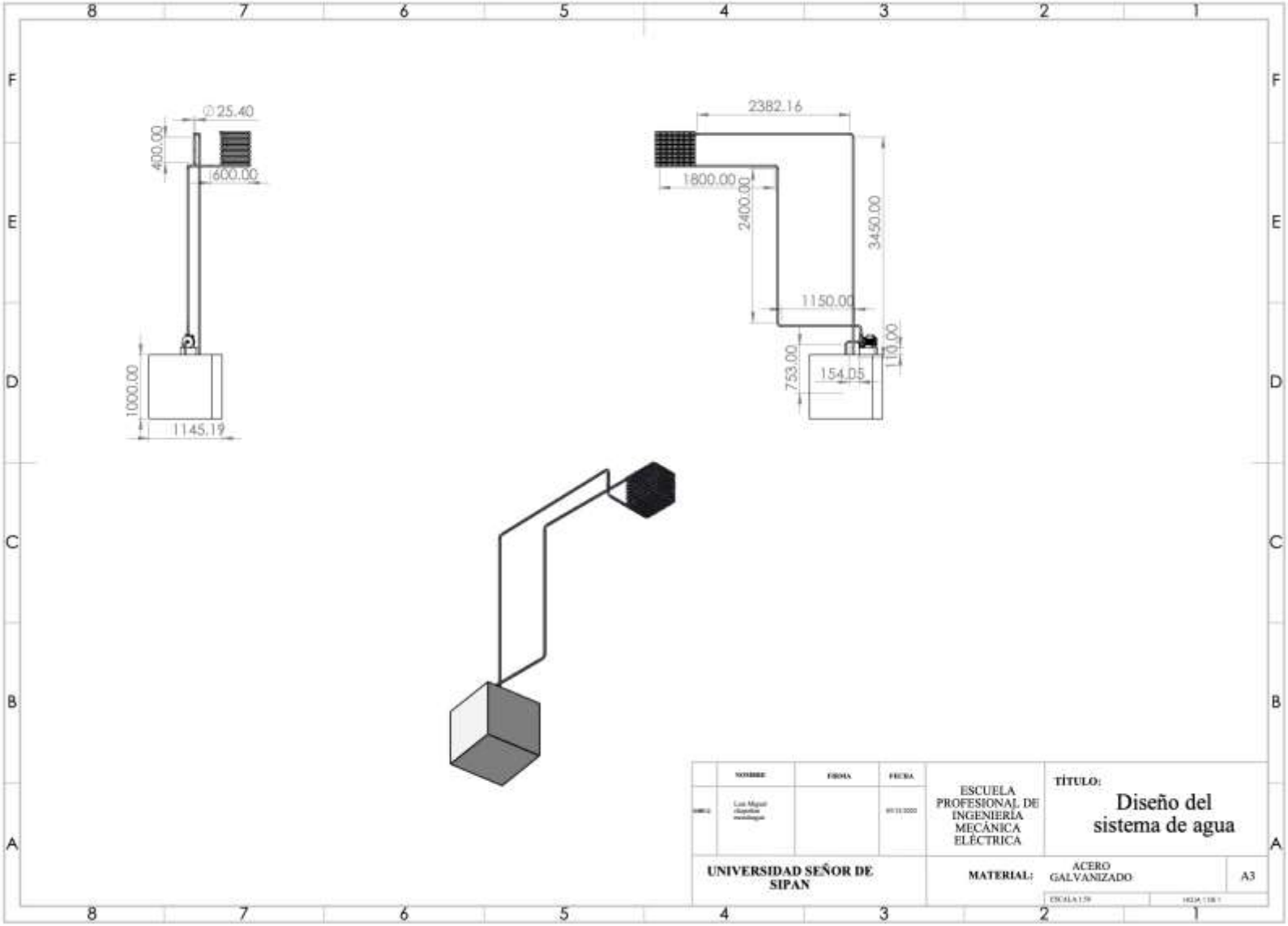
Accesorios	K	L/D
Válvula esférica (totalmente abierta)	10	350
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5	175
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2.5	-
Válvula de retención (totalmente abierta)	2	135
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0.2	13
Válvula de compuerta (abierta ¾	1.15	35
Válvula de compuerta (abierta ½	5.6	160
Válvula de compuerta (abierta ¼	24.0	900
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-	40
"T" por la salida lateral	1.80	67
Codo a 90º de radio corto (con bridas)	0.90	32
Codo a 90º de radio normal (con bridas)	0.75	27
Codo a 90º de radio grande (con bridas)	0.60	20
Codo a 45º de radio corto (con bridas)	0.45	-
Codo a 45º de radio normal (con bridas)	0.40	-
Codo a 45º de radio grande (con bridas)	0.35	-

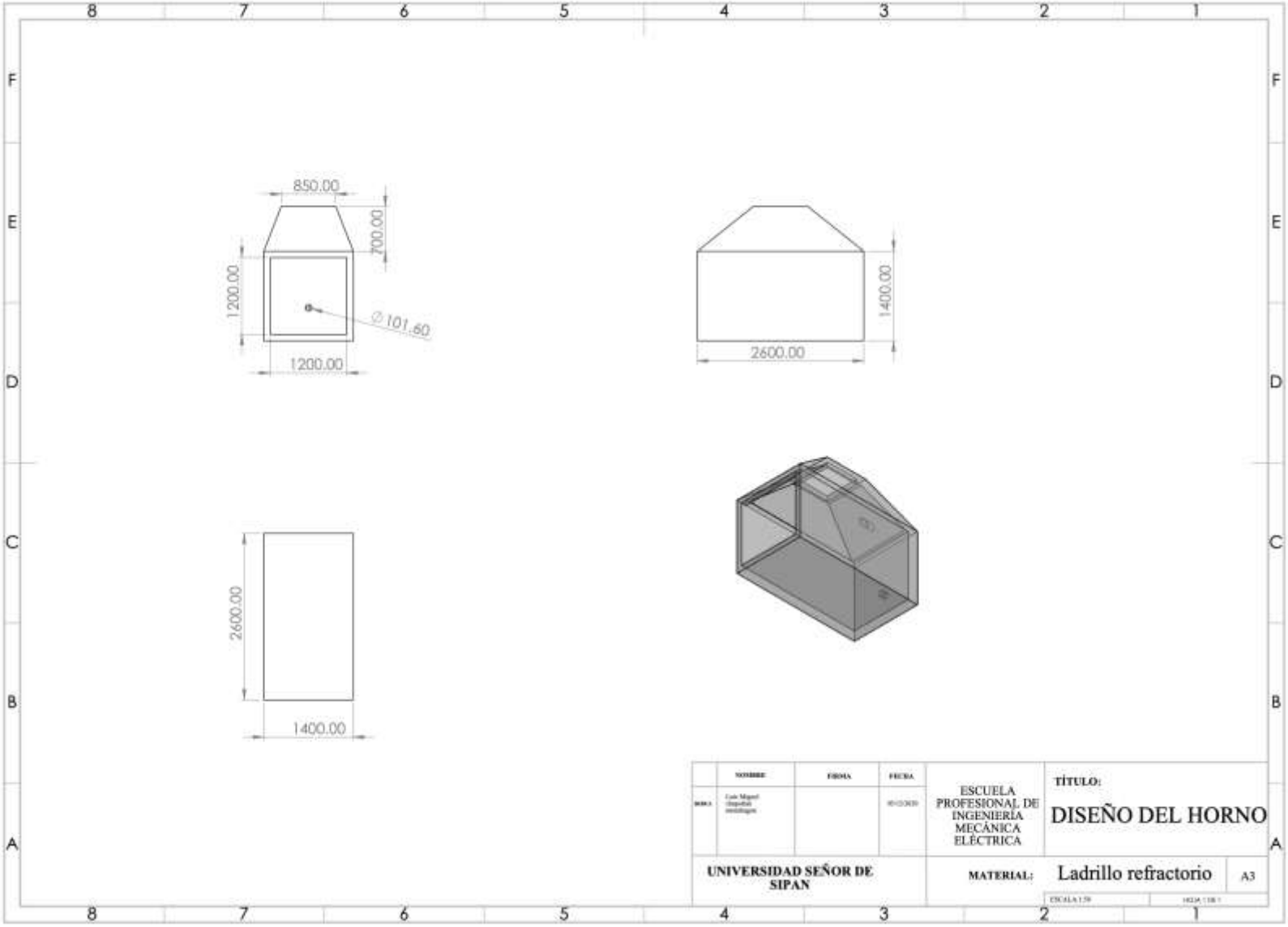
PLANOS


Ø210.00
R329.00
164.00
Ø658.00
Ø210.00
820.00
264.00
1640.00
820.00
100.00
Ø158.00
NOMBRE
FIRMA
FECHA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA
TÍTULO:
Diseño del ciclon
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN
MATERIAL:
ACERO GALVANIZADO
A3


4425.00
2925.00
3575.00
2075.00
1200.00
1200.00
2381.58
1740.00
2400.00
3450.00
700.00
1400.00
1000.00
1000.00
2600.00
2381.28
300.00
850.00
NOMBRE
FIRMA
FECHA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA
TÍTULO:
Diseño de un horno crematorio
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN
MATERIAL:
ACERO GALVANIZADO
A3


410.00
550.39
600.00
550.39
620.40
Ø25.40
NOMBRE
FIRMA
FECHA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA
TÍTULO:
Diseño del intercambiador de calor
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN
MATERIAL:
ACERO GALVANIZADO
A3


⌀25.40
400.00
1600.00
1000.00
1145.19
2382.16
1800.00
2400.00
3450.00
1150.00
110.00
753.00
154.05
NOMBRE
FIRMA
FECHA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA
TÍTULO:
Diseño del sistema de agua
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN
MATERIAL:
ACERO GALVANIZADO
A3


850.00
700.00
1200.00
Ø101.60
1200.00
1400.00
2600.00
2600.00
1400.00
NOMBRE
FIRMA
FECHA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA
TÍTULO:
DISEÑO DEL HORNO
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN
MATERIAL:
Ladrillo refractorio
A3