



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

TEMA:

**“IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO DE UN PROTOCOLO DE
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE UN HORNO
INCINERADOR PROTOTIPO ENERGIZADO CON RESISTENCIAS
ELÉCTRICAS”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN DISEÑO PRODUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

ROBERTO DANILO MOPOSITA MANOTOA
roberto.moposita@epn.edu.ec

DIRECTOR:
IVAN ZAMBRANO OREJUELA
ivan.zambrano@epn.edu.ec

FECHA
Quito, 22 de mayo de 2023

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **Roberto Danilo Moposita Manotoa**, bajo mi supervisión.

Ing. Iván Zambrano Orejuela MSc.

DIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Yo, **Roberto Danilo Moposita Manotoa**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Autor

DEDICATORIA

A mi madre que es la única que siempre ha creído en mí, enseñado el camino del bien y convertido en un buen ser humano, con su cariño, abnegación y el amor ilimitado que tiene para todos sus hijos.

A mi padre que siempre estuvo pendiente de mí, y me ha ofrecido su apoyo incondicional. Corrigiéndome y dándome aliento para seguir adelante. Y que me enseñó el significado de la satisfacción de una gota de sudor en la frente.

A mis hermanos por el apoyo incondicional, cariño y respeto.

A mis sobrinos que me han dado nueva fuerza y alegría.

Roberto Danilo Moposita Manotoa

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser la fuerza interna, para conseguir mis objetivos planteados.

A toda mi familia por su apoyo y ser la base sólida para seguir en este camino.

A la Escuela Politécnica Nacional por permitirme seguir una de sus carreras, obtener nuevos conocimientos, conocer profesores motivadores; y ser un integrante de esta prestigiosa Institución.

A mi director de tesis, Ing. Iván Zambrano MSc, por su confianza, paciencia, tiempo y dedicación para lograr desarrollar del proyecto de transferencia tecnológica.

A todos los compañeros de carrera, por haber compartido sus diferentes puntos de vista y visualizar las competencias de sus distintas profesiones que hicieron un tema más de entusiasmo en las aulas de estudio.

Roberto Danilo Moposita Manotoa

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xi
Introducción.....	12
Objetivo general.....	12
Objetivos específicos.....	12
1. MARCO TEÓRICO.....	12
1.1 ANTECEDENTES.....	12
1.2 ESTADO DE ARTE.....	13
1.2.1 Hornos de incineración.....	13
1.2.2 Clasificación de hornos de calentamiento.....	14
1.2.3 Características de materiales de construcción.....	15
1.2.4 Resistencias eléctricas para calentamiento.....	16
1.3 ACTIVIDADES PREVIAS A LA IMPLEMENTACIÓN.....	19
1.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	19
2. METODOLOGÍA.....	20
2.1 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.....	20
2.1.1 Inspección de sitio de implementación.....	20
2.1.2 Replanteo o base.....	20
2.1.3 Instalaciones eléctricas.....	21
2.1.4 Ubicación de horno incinerador.....	22
2.2 VERIFICACIÓN DE TRABAJOS.....	22
2.3 PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	26

2.3.1	Determinación de parámetros a ser evaluados	27
2.3.2	Volumen interno de la cámara principal	27
2.3.3	Temperatura externa de horno.....	28
2.3.4	Resistencia eléctricas de horno prototipo.....	30
2.4	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL INCINERADOR.....	30
Prueba de curado N° 1	.....	31
Prueba de curado N° 2	.....	32
Prueba de incineración N° 1	.....	33
Prueba de incineración N° 2	.....	37
Prueba de incineración N° 3	.....	40
Prueba de incineración N° 4	.....	45
Prueba de incineración N° 5	.....	51
Prueba de incineración N° 6	.....	56
Prueba de incineración N° 7	.....	61
Prueba de incineración N° 8	.....	66
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	73
3.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS	73
3.2	DISCUSIÓN.....	76
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
4.1	CONCLUSIONES.....	77
4.2	RECOMENDACIONES.....	78
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
	ANEXOS.....	82
	ANEXO 1 Project con el cronograma.....	82
	ANEXO 2 Ejemplo de protocolo de pruebas	83
	ANEXO 3 Planos	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones [Fuente: Propia].....	19
Tabla 2. Primera prueba de curado de horno incinerador [Fuente: Propia].....	31
Tabla 3. Segunda prueba de curado de horno incinerador [Fuente: Propia].	32
Tabla 4. Tiempo y temperatura de incineración de carga [Fuente: Propia].	34
Tabla 5. Medición de amperios en cada fase [Fuente: Propia].	35
Tabla 6. Temperatura de puntos de medición externa del horno [Fuente: Propia].	36
Tabla 7. Tiempo y temperatura de incineración de carga [Fuente: Propia].	38
Tabla 8. Medición de amperios en cada fase [Fuente: Propia].	39
Tabla 9. Tiempo y temperatura de incineración de carga [Fuente: Propia].	42
Tabla 10. Medición de amperios en cada fase [Fuente: Propia].	43
Tabla 11. Temperatura de puntos de medición externa del horno [Fuente: Propia]. ...	44
Tabla 12. Tiempo y temperatura de incineración de carga [Fuente: Propia].	48
Tabla 13. Medición de amperios en cada fase [Fuente: Propia].	49
Tabla 14. Temperatura de puntos de medición externa del horno [Fuente: Propia]. ...	49
Tabla 15. Tiempo y temperatura de incineración de carga [Fuente: Propia].	52
Tabla 16. Temperatura de puntos de medición externa del horno [Fuente: Propia]. ...	54
Tabla 17. Tiempo y temperatura de incineración de carga [Fuente: Propia].	57
Tabla 18. Temperatura de puntos de medición externa del horno [Fuente: Propia]. ...	59
Tabla 19. Tiempo y temperatura de incineración de carga [Fuente: Propia].	62
Tabla 20. Medición de amperios en cada fase [Fuente: Propia].	63
Tabla 21. Temperatura de puntos de medición externa del horno [Fuente: Propia]. ...	64
Tabla 22. Tiempo y temperatura de incineración de carga [Fuente: Propia].	68
Tabla 23. Medición de amperios en cada fase [Fuente: Propia].	69
Tabla 24. Temperatura de puntos de medición externa del horno [Fuente: Propia]. ...	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de hornos [27].	14
Figura 2. Despiece de horno incinerador [Fuente: Propia].	16
Figura 3. Conexión delta (Δ) [23].	17
Figura 4. Conexión estrella (Y) [23].	17
Figura 5. Distribución de resistencias en cámara principal [28].	18
Figura 6. Conexión de resistencias eléctricas [28].	18
Figura 7. Visita del sitio asignado para la instalación [Fuente: Propia].	20
Figura 8. Base o replantillo de concreto [Fuente: Propia].	21
Figura 9. Voltaje entre línea y línea [Fuente: Propia].	21
Figura 10. Ubicación del horno [Fuente: Propia].	22
Figura 11. Construcción paredes de cámara secundaria [Fuente: Propia].	22
Figura 12. Paredes laterales con ángulo de la cúpula [Fuente: Propia].	23
Figura 13. Resistencia eléctricas cámara secundaria [Fuente: Propia].	23
Figura 14. Tablero de fuerza y control [Fuente: Propia].	24
Figura 15. Conexión de resistencias en cámaras [Fuente: Propia].	24
Figura 16. Termocupla en la parte superior del horno [Fuente: Propia].	25
Figura 17. Plancha metálica sobre aislante [Fuente: Propia].	25
Figura 18. Armado de compuerta en soporte [Fuente: Propia].	26
Figura 19. Unión de compuerta con soporte con bisagras [Fuente: Propia].	26
Figura 20. Volumen interno de calentamiento [Fuente: Propia].	28
Figura 21. Vista frontal de posición de termocupla [Fuente: Propia].	28
Figura 22. Puntos de medición frontales y bajo la compuerta móvil [Fuente: Propia].	29
Figura 23. Puntos de medición laterales y chimenea [Fuente: Propia].	29
Figura 24. Resistencias eléctricas empotradas [Fuente: Propia].	30
Figura 25. Calentamiento de curado con 11 kW [Fuente: Propia].	31
Figura 26. Pintura externa de horno incinerador [Fuente: Propia].	32
Figura 27. Calentamiento de curado con 15 kW [Fuente: Propia].	33
Figura 28. Carga, 2 cabezas de cerdo grandes, 8.6 kg [Fuente: Propia].	34
Figura 29. Temperatura vs tiempo prueba 1 [Fuente: Propia].	35
Figura 30. Retiro de restos prueba 1 [Fuente: Propia].	37
Figura 31. Carga, 2 cabezas de cerdo, 7 kg [Fuente: Propia].	38
Figura 32. Temperatura vs tiempo prueba 2 [Fuente: Propia].	39
Figura 33. Retiro de restos prueba 2 [Fuente: Propia].	40
Figura 34. Apertura de compuerta para entrada de aire [Fuente: Propia].	41
Figura 35. Carga, 1 cabeza de cerdo grande, 6 kg [Fuente: Propia].	42

Figura 36. Temperatura vs tiempo prueba 3 [Fuente: Propia].	43
Figura 37. Retiro de restos prueba 3 [Fuente: Propia].	45
Figura 38. Agujeros de compuerta para entrada de aire [Fuente: Propia].	45
Figura 39. Pirómetro para medición de temperatura [Fuente: Propia].	46
Figura 40. Multímetro para medición de amperaje [Fuente: Propia].	46
Figura 41. Carga, 1 cabeza de cerdo grande, 4.5 kg [Fuente: Propia].	47
Figura 42. Temperatura vs tiempo prueba 4 [Fuente: Propia].	48
Figura 43. Retiro de restos prueba 4 [Fuente: Propia].	51
Figura 44. Carga, 1 cabeza de cerdo grande, 5.6 kg [Fuente: Propia].	52
Figura 45. Temperatura vs tiempo prueba 5 [Fuente: Propia].	54
Figura 46. Retiro de restos prueba 5 [Fuente: Propia].	56
Figura 47. Carga, 1 cabeza de cerdo y una pata de res, 8 kg [Fuente: Propia].	57
Figura 48. Temperatura vs tiempo prueba 6 [Fuente: Propia].	58
Figura 49. Gases de chimenea de prueba 6 [Fuente: Propia].	60
Figura 50. Retiro de restos prueba 6 [Fuente: Propia].	60
Figura 51. Carga, cuatro patas de res cortadas en pedazos, 7.7 kg [Fuente: Propia].	62
Figura 52. Temperatura vs tiempo prueba 7 [Fuente: Propia].	63
Figura 53. Retiro de restos prueba 7 [Fuente: Propia].	66
Figura 54. Fotografía termográfica de incinerador prueba 7 [Fuente: Propia].	66
Figura 55. Carga, cuatro patas de res, 8.1 kg [Fuente: Propia].	67
Figura 56. Temperatura vs tiempo prueba 8 [Fuente: Propia].	69
Figura 57. Retiro de restos prueba 8 [Fuente: Propia].	71
Figura 58. Fotografía termográfica de incinerador prueba 8. Fuente: [Propia].	72
Figura 59. Resumen de pruebas de temperatura vs tiempo [Fuente: Propia].	72

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo el acompañamiento y seguimiento del proceso de construcción, instalación y pruebas del horno incinerador prototipo. El proceso se realiza primero con la determinación del sitio, adquisición de materiales y elementos necesarios para la construcción, se verificó la construcción de la estructura refractario, aislamiento térmico, carcasa metálica y la chimenea.

Se realizó un protocolo de pruebas de funcionamiento para implementarlo luego del proceso de construcción del horno incinerador, una vez elaborado el protocolo se han hecho ocho pruebas en las cuales se toman datos del comportamiento del horno.

Terminadas las pruebas se detecta que es necesario hacer algunos ajustes en la construcción.

Palabras clave: Protocolo, horno, incinerador, resistencia eléctrica.

ABSTRACT

The objective of this titling work is to accompany and tracking the process of construction, installation and testing of the prototype incinerator furnace. The process is carried out first with the determination of the site, acquisition of materials and elements necessary for construction, the construction of the refractory structure, thermal insulation, metal casing and the chimney were verified.

A protocol of functional tests was carried out to implement it after the construction process of the incinerator furnace, once the protocol has been developed, eight tests have been carried out in which data on the behavior of the furnace are taken.

Once the tests are finished, it is detected that it is necessary to make some adjustments in the construction.

Keywords: Protocol, furnace, incinerator, electrical resistance.

IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO DE UN PROTOCOLO DE PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE UN HORNO INCINERADOR PROTOTIPO ENERGIZADO CON RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

Introducción

El presente trabajo de titulación busca implementar de forma experimental un prototipo a escala, realizando la construcción de la cámara principal, cámara secundaria, compuerta principal, compuerta corrediza inferior, capa aislante, carcasa metálica de protección externa y chimenea. Es fundamental el desarrollo de pruebas de funcionamiento que permitan realizar un análisis comparativo de datos de tiempo y temperatura en la incineración de carga aplicada.

La contribución de este trabajo al Proyecto de Trasferencia Tecnológica PTT-20-01, es comprobar las especificaciones técnicas del horno incinerador propuesto.

Objetivo general

Implementar y desarrollar un protocolo de pruebas de funcionamiento de un horno incinerador prototipo energizado con resistencias eléctricas.

Objetivos específicos

- Validar las especificaciones técnicas del modelo prototipo del horno incinerador de resistencias eléctricas.
- Verificar técnicamente la implementación del prototipo de horno a escala.
- Implementar un protocolo de pruebas de funcionamiento del incinerador determinando el tiempo del proceso.

CAPÍTULO 1

1. MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES

El presente trabajo toma como referencia trabajos de titulación anteriores los mismos que se describen a continuación:

En el trabajo de titulación Arias y Bolaños se realiza la comparación del sistema de radiación por arco eléctrico y de resistencias eléctricas donde se determinan que el método de resistencias eléctricas tiene mejor rendimiento, con menos tiempo de proceso de incineración con temperaturas más altas y con una mejor disipación de calor [4].

En el trabajo de titulación Naranjo y Velazco presenta un estudio de diseño funcional de un horno crematorio energizado por resistencia eléctricas, en el que por medio de ingeniería concurrente propone el diseño de un prototipo de tamaño reducido con funcionalidad de uno de tamaño normal [6].

En el trabajo de titulación de Chalán y Pallo, se proponen el diseño de una máquina para recoger restos del incinerador en el que se plantea eliminar la operación manual del operador, automatizando el sistema para la maquina recolectora, mediante el diseño conceptual se analizan opciones para la apertura de la compuerta móvil [5].

En el trabajo de titulación de Flores y Mena, se realiza el diseño de la instalación eléctrica de las resistencias y la simulación del modelo de calentamiento, se propone una instalación y control en lazo cerrado, se realizan la selección de los componentes de instalación, control del sistema de calentamiento del horno y los diagramas de conexión eléctrica [28].

Con fines de implementación del horno incinerador la Escuela Politécnica Nacional, realizó un contrato por obra cierta para la construcción, el mismo que se inició con las autorizaciones correspondientes y con el nombramiento del administrador del contrato.

1.2 ESTADO DE ARTE

1.2.1 Hornos de incineración

Los hornos crematorios de uso funerario generalmente están diseñados con una cámara de combustión primaria y una secundaria. El ataúd se coloca dentro de la cámara primaria del crematorio en la que alcanzará una temperatura entre 800 y 850°C [22].

La cámara primaria generalmente se encuentra reforzada para darle resistencia, el aislamiento se compone de hormigón para alta temperatura, ladrillo refractario y materiales aislantes que cubren al incinerador interna y externamente. El aislamiento está dispuesto de modo que la temperatura exterior no cause accidentes por quemaduras. La mayor parte de hornos crematorios son multi combustibles, pueden utilizar gas, gasóleo, fuel o electricidad. La cámara secundaria sirve para quemar los

gases emitidos. El tiempo para completar el proceso de cremación puede variar según el tipo de quemador, tipo de combustible, el peso del féretro y del cadáver [22].

El horno incinerador prototipo servirá para realizar ensayos con una capacidad de un tercio del peso promedio de un cuerpo humano.

1.2.2 Clasificación de hornos de calentamiento

Partiendo de las diferentes formas de calentamiento, atmósfera reinante y solera se da la siguiente clasificación de hornos [14].

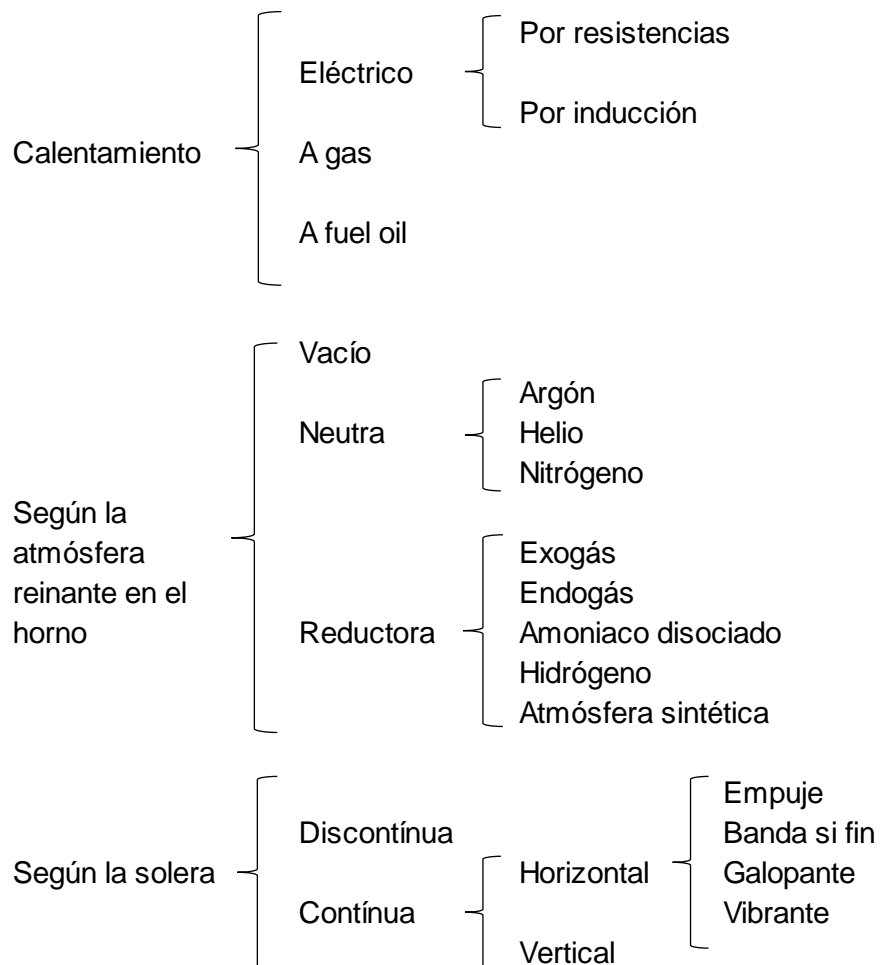


Figura 1. Clasificación de hornos [27].

Utilidad del horno crematorio

La cremación de cadáveres legalizada en 1979 constituye una interesante alternativa a la inhumación, presentando indudables ventajas, ya que reduce los problemas de espacio en los cementerios y elimina olores y focos de contaminación [17].

Principio de funcionamiento del horno de cremación

El horno crematorio trabaja según un ciclo mixto de pirolisis y combustión estequiométrica de manera que se obtiene unas cenizas completamente calcinadas. La pirolisis es el fenómeno de combustión en ausencia total de aire, se realiza para la primera parte de la incineración del féretro por ser de materiales altamente inflamables. Destruído el féretro, se produce la evaporación del agua presente en los restos humanos y la calcinación de los restos óseos. Este proceso se realiza en presencia de aire mientras que la llama afecta directamente a los restos humanos [17].

1.2.3 Características de materiales de construcción

Ladrillos refractarios

Para la construcción de la cámara principal y cámara secundaria se utilizan ladrillos refractarios aislantes, con una conductividad con la que se pueda incrementar la temperatura hasta 1200°C, para el estudio se referencia una conductividad térmica de 0.26 (k-cal/mK) y una resistencia a la temperatura equivalente de 1665°C [6].

Mortero refractario

Para unir los ladrillos de material refractario se utilizó una mezcla de mortero refractario, concreto refractario y agua, al igual que los ladrillos, el mortero y el concreto debe soportar temperaturas altas. Se los utiliza en aplicaciones en las que no se exceda de 1500°C. Tienen una conductividad térmica de 0.419 (k-cal/mK) y un máximo de resistencia a la temperatura de 1240°C [6].

Compuerta inferior

Esta compuerta es el piso del horno, funcionará como una compuerta corrediza será fabricada de concreto refractario [6].

Recubrimiento aislante

En todo el contorno exterior del material refractario se coloca material aislante, fibrocemento o lana de vidrio de 50 mm de espesor [6].

Carcasa metálica

La última capa externa es protegida con una carcasa de chapa metálica construida de plancha de acero inoxidable de 2 mm de espesor [6].

Compuerta principal

Construida de una carcasa de acero sobre la cual se fundió concreto refractario, estará soportado sobre una estructura de tubo cuadrado y unida por bisagras [6].

Chimenea

La función de la chimenea es llevar los gases producidos por la incineración hacia la atmósfera con degradación y reducción de contaminantes, generalmente de forma cilíndrica y se establece una altura mínima recomendable a partir de salida de la cámara secundaria [6].

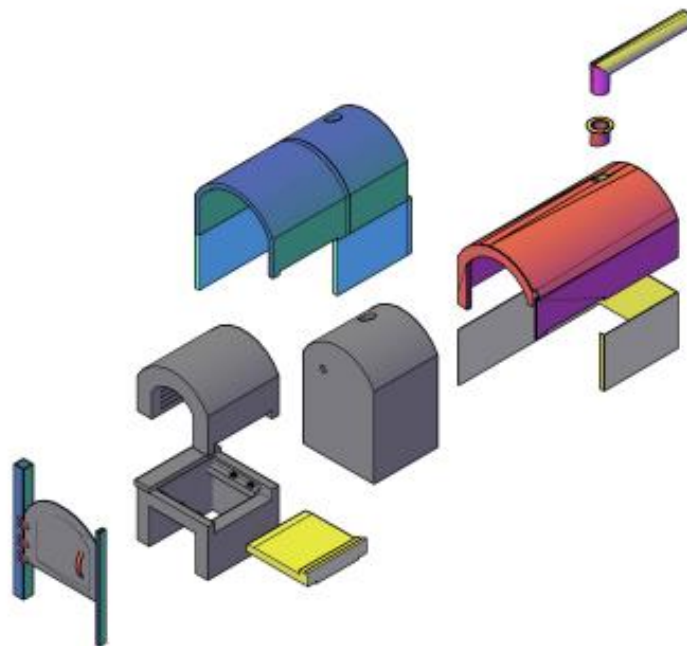


Figura 2. Despiece de horno incinerador [Fuente: Propia].

1.2.4 Resistencias eléctricas para calentamiento

El calentamiento indirecto por radiación se produce por una resistencia metálica de aleación de Fe-Cr-Al (KANTHAL). La aleación cuenta con un envolvente protector de aluminio (Al), la resistividad eléctrica de esta aleación es más elevada que la aleación Ni-Cr. [23]. Aleación Kanthal o carburo de silicio, que alcanza temperaturas algo superiores (1300°C). Las resistencias de carburo de silicio tienen la ventaja de presentar una gran resistencia a los gases de la atmosfera y a la termofluencia [27]. Disposición de las resistencias en las superficies: paredes laterales y parte posterior del horno.

Conexión de resistencias

Frecuentemente la conexión de las resistencias es directa a la red de 220 V o 380V, se puede realizar una conexión en estrella o en triangulo, las conexiones estrella tienen un

mejor rendimiento de la potencia del sistema. Los términos utilizados en las ecuaciones son:

R = Resistencia

V_L = Voltaje de línea

V_F = Voltaje de fase

I_L = Corriente de línea

I_F = Corriente de fase

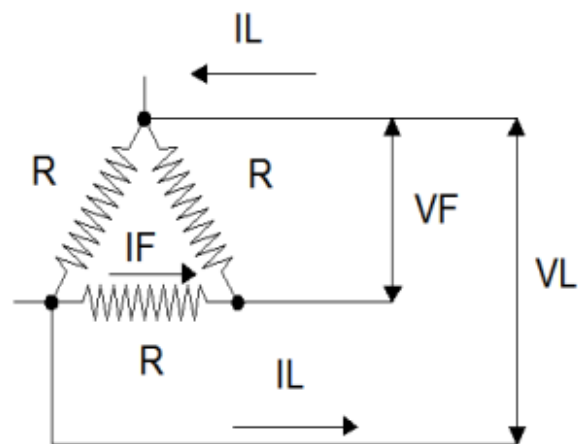


Figura 3. Conexión delta (Δ) [23].

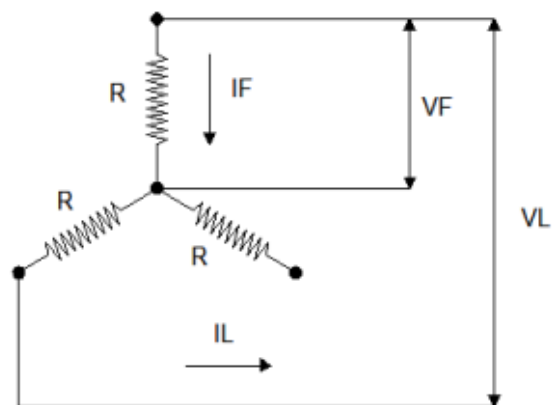


Figura 4. Conexión estrella (Y) [23].

Características de las resistencias

A continuación, se describe cada una de las resistencias: el material elegido es la aleación de Kantahal 1, potencia de 1000 watts, resistencia de 48 ohmios, largo de 80 centímetros, diámetro de 10 milímetros y una temperatura de 1200°C en la superficie. La potencia de la instalación es de 15 kW en la cámara principal.

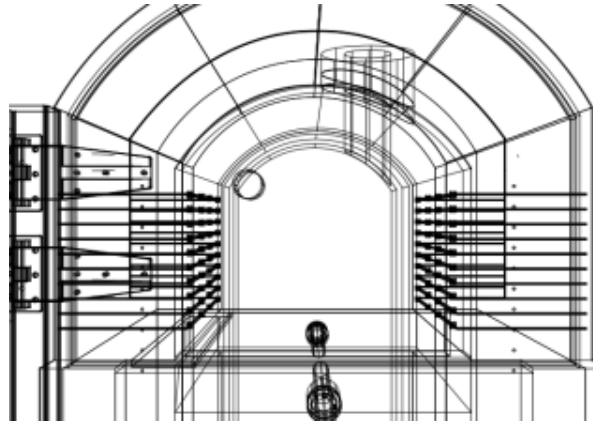


Figura 5. Distribución de resistencias en cámara principal [28].

El cable para la conexión de los terminales externos de las resistencias es de alta temperatura, soporta hasta 200°C, se calcula un calibre 14 AWG. La distribución de las resistencias para una potencia de 15 kW se presenta en la figura 6. Con esta configuración y con una alimentación de 220 V, se obtiene una potencia en la cámara principal de 15 kW y 7.5 kW en la cámara secundaria [28].

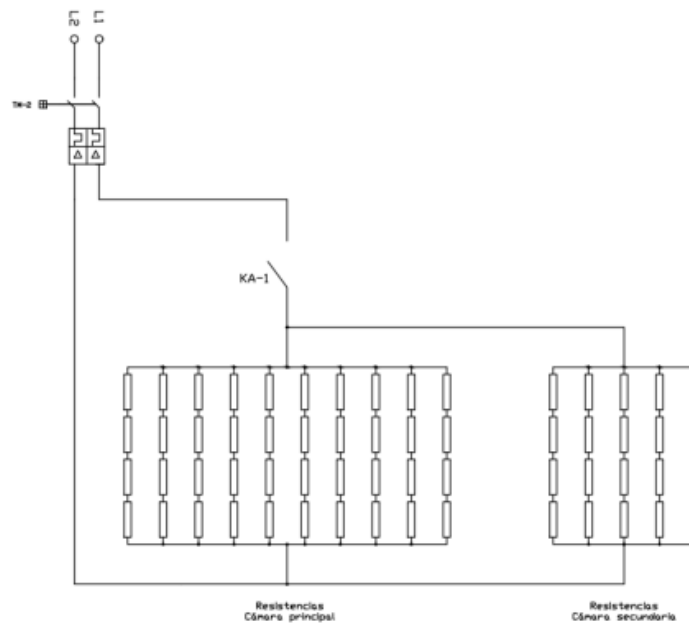


Figura 6. Conexión de resistencias eléctricas [28].

1.3 ACTIVIDADES PREVIAS A LA IMPLEMENTACIÓN

El seguimiento de la implementación tendrá las siguientes actividades: proporcionar información necesaria para inicio de trabajos, revisar los canales de comunicación entre los participantes de la implementación, establecer un directorio general con todos datos de todos los participantes, revisión del proyecto de implementación verificando el cumplimiento de normas y especificaciones vigentes.

Realizar el reconocimiento del sitio donde se ejecuta la implementación del horno para conocer las características físicas de la infraestructura [11].

1.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Tabla 1. Especificaciones [Fuente: Propia]

Especificaciones			
Concepto	Propone	R/D	Descripción
Función	C	D	Elevar la temperatura interna hasta 1200 °C para una adecuada incineración, controlar la variación de temperatura en el visor principal, fácil entrada de la carga por la compuerta principal, evitar contaminación ambiental a través de la cámara secundaria, estabilización de amperaje de consumo y chimenea para gases de escape
Dimensión	I	D	Horno prototipo a escala de: 2298 x 1264 x 1702 mm, el espesor de la pared aislante corresponde al largo del ladrillo refractario 230 mm.
Materiales	I	R	Material para la estructura, refractario, aislante, carcasa metálica y compuerta de recolección de restos incinerados
Señales y control	I	R	Señal de termocupla y control para mantener una temperatura en un tiempo determinado de incineración, mecanismo de control y potencia de resistencias eléctricas y control de mando de compuerta de recolección
Capacidad	C	R	Incineración de una carga de carne porcina y res con una masa de hasta 20 kg, que pueda representar el fenómeno lo más claramente posible
Mantenimiento	I	D	Mantenimiento preventivo de componentes de control eléctrico y electrónico, mecanismo de sistema de compuerta de recolección
Aspectos legales y ambientales	C+I	R	Cumplir normativa ambiental para control de olores y humo, normas de seguridad

C: Cliente. I: Ingeniería. R: Requisito. D: Deseo

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

El procedimiento comienza con la verificación del lugar, revisar el estado del piso y realizar el trazado donde se construye el replantillo de concreto. Para la unión de paredes es necesario mortero refractario.

2.1.1 Inspección de sitio de implementación

Se realiza una visita del sitio asignado verificando el terreno, piso, paredes, techo, instalaciones adicionales para la implementación del horno incinerador.



Figura 7. Visita del sitio asignado para la instalación [Fuente: Propia].

2.1.2 Replantillo o base

Es necesario revisar la factibilidad de la base o replantillo de concreto que soportará el horno incinerador.



Figura 8. Base o replantillo de concreto [Fuente: Propia].

2.1.3 Instalaciones eléctricas

Se revisó las instalaciones eléctricas, se encuentran tomas de 220V/50A, 220/30A, y 110V/15A. La caja donde se encuentra los cables más cercanos al sitio donde será instalado el horno incinerador se encuentra cerca del caldero. Se comprueba el voltaje entre línea y línea es de 228 voltios, línea y neutro es de 130 voltios y entre tierra y neutro es de 0 voltios.



Figura 9. Voltaje entre línea y línea [Fuente: Propia].

2.1.4 Ubicación de horno incinerador

Horno transversal a la nave, en este caso no existe ningún problema con respecto a la compuerta de extracción de restos incinerados tampoco con la entrada y salida de la máquina recogedora de restos. Realizando un montaje con el replantillo tenemos la siguiente proyección.

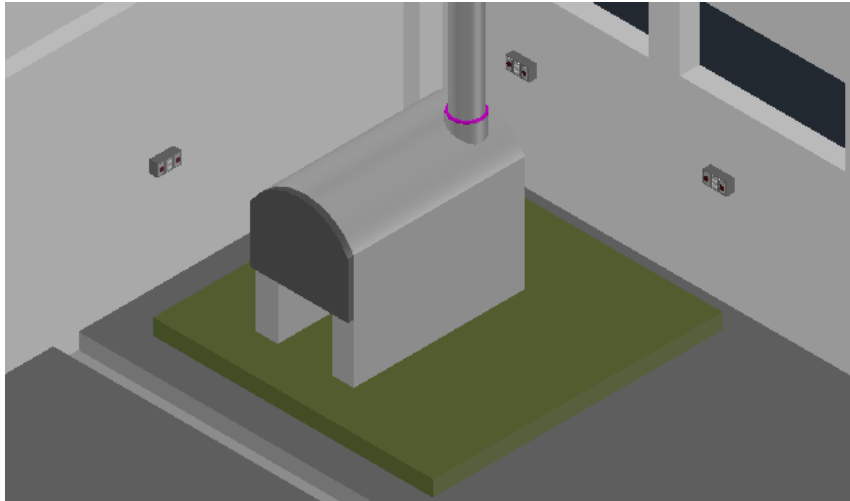


Figura 10. Ubicación del horno [Fuente: Propia].

2.2 VERIFICACIÓN DE TRABAJOS

Se realiza el seguimiento de la obra, equipos e instalaciones, verificando el cumplimiento de los requisitos establecidos en las especificaciones del proyecto.



Figura 11. Construcción paredes de cámara secundaria [Fuente: Propia].



Figura 12. Paredes laterales con ángulo de la cúpula [Fuente: Propia].

Se forma el orificio de diámetro de 100 mm en la pared que conecta la primera cámara con la segunda, por donde saldrán los gases de la combustión. Se procede a colocar las resistencias en la cámara secundaria antes de proceder con el armado de la cúpula, se instala el tablero de fuerza y control eléctrico, se realiza la conexión externa de las resistencias, se implementa el cableado para el motor de la compuerta corrediza y se instalar la termocupla.

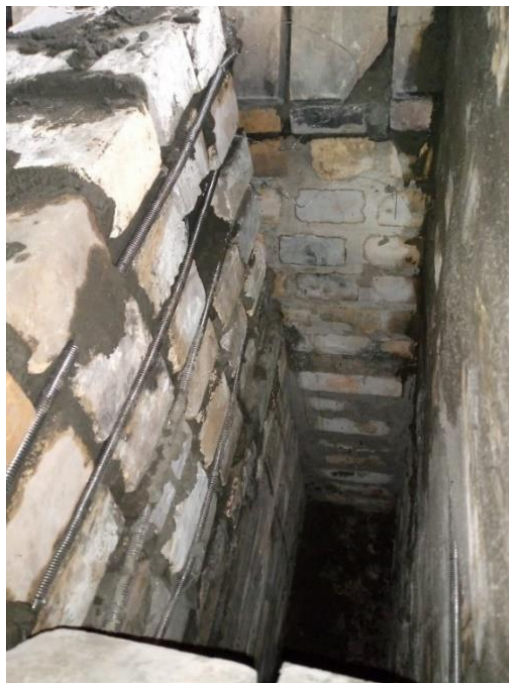


Figura 13. Resistencia eléctricas cámara secundaria [Fuente: Propia].



Figura 14. Tablero de fuerza y control [Fuente: Propia].



Figura 15. Conexión de resistencias en cámaras [Fuente: Propia].



Figura 16. Termocupla en la parte superior del horno [Fuente: Propia].

La plancha metálica de 2 mm, barolada para la carcasa, se iza para colocarla sobre el recubrimiento aislante del horno. Se construye el soporte metálico para el sistema de movimiento de la compuerta corrediza y se aumenta el grosor del soporte para deslizamiento de la compuerta.



Figura 17. Plancha metálica sobre aislante [Fuente: Propia].

Posterior al secado del material refractario se quita el material que le dio forma a la compuerta y se inicia con el armado en el soporte, se coloca las bisagras y se comprueba el cerrado de la compuerta.



Figura 18. Armado de compuerta en soporte [Fuente: Propia].



Figura 19. Unión de compuerta con soporte con bisagras [Fuente: Propia].

2.3 PROTOCOLO DE PRUEBAS

Para satisfacer el producto final debe haber pruebas para cada requerimiento. Este protocolo se implementa para comprobar su utilidad y mostrar los resultados obtenidos.

La prueba de incineración en función de la carga ingresada tiene como objetivos, medir el tiempo de incineración, medir la temperatura de incineración respecto al tiempo y medir el amperaje consumido a fin de comprobar el diseño eléctrico y electrónico.

Actividades:

- Precalentar el horno hasta alcanzar una temperatura que pueda ingresar la carga.
- Verificar estado de los materiales y fugas de calor.
- Utilizando el equipo de protección necesario, ubicar una carga de materia orgánica dentro de la cámara principal.
- Colocar en el visor la temperatura en la escogida para la prueba.
- Tomar el tiempo de calentamiento hasta alcanzar la temperatura de estabilización, escogida en el visor.
- Medir el tiempo total de incineración completa de la carga.
- Dejar enfriar el horno hasta una temperatura segura () °C para retirar los restos.
- Retirar los restos incinerados.
- Realizar gráfico de curva temperatura vs tiempo.
- Comparar los gráficos de las curvas de temperatura vs tiempo.

2.3.1 Determinación de parámetros a ser evaluados

El protocolo comprueba cada sistema del horno incinerador, verificando el estado físico de sus componentes, el control de elementos, verificación de fugas y la medición de tiempos y temperaturas de incineración de la carga.

2.3.2 Volumen interno de la cámara principal

Se calcula el volumen interno de la cámara principal del horno incinerador por partes, está compuesta por un segmento circular un pequeño triángulo y segmentos rectangulares. Esta área se multiplica por la profundidad respectiva. Se suma los volúmenes y se obtiene un volumen total. El volumen interno de la cámara principal es de 0.410 m³ [6]. Es muy importante mencionar que la termocupla de medición de temperatura se encuentra en el centro de la cúpula del horno y medirá el aire que circula. Las resistencias laterales alcanzarán la temperatura de fabricación en este caso 1.200°C.

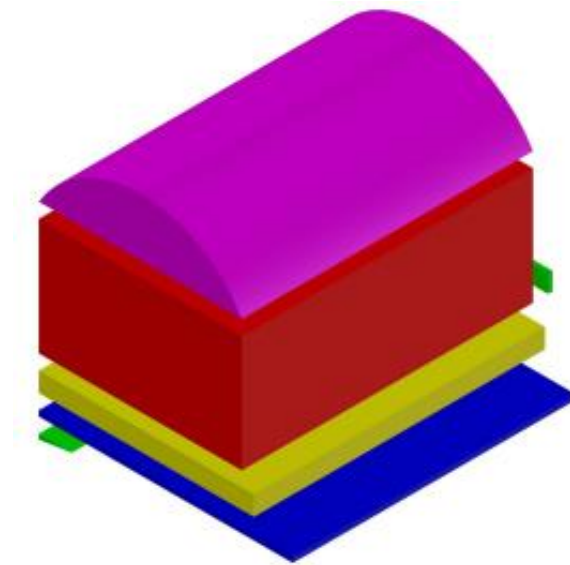


Figura 20. Volumen interno de calentamiento [Fuente: Propia].

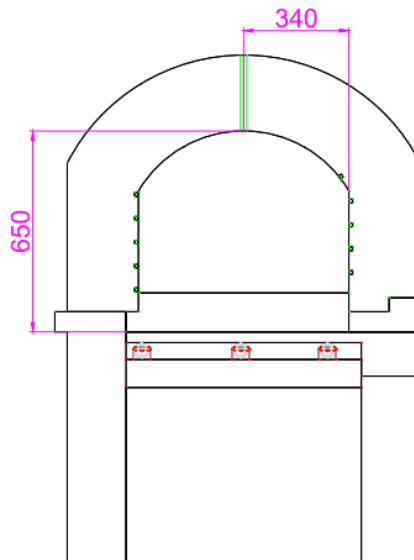


Figura 21. Vista frontal de posición de termocupla [Fuente: Propia].

2.3.3 Temperatura externa de horno

Con la ayuda del pirómetro se realizan mediciones de temperatura externas en diferentes lugares del horno que fueron previamente definidos. Frontalmente se toman cuatro puntos en la compuerta principal (T2, T3, T4, T5) y uno en la parte inferior de la compuerta móvil (T11).

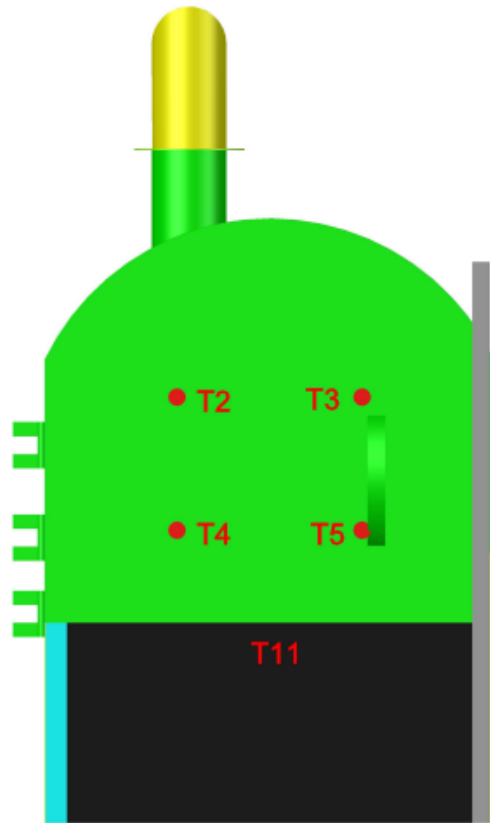


Figura 22. Puntos de medición frontales y bajo la compuerta móvil [Fuente: Propia].

Lateralmente se toman cuatro puntos en la zona superior del horno (T6, T7, T8, T9) y un punto en la salida de los gases de la chimenea (T10), como se muestra en el gráfico.

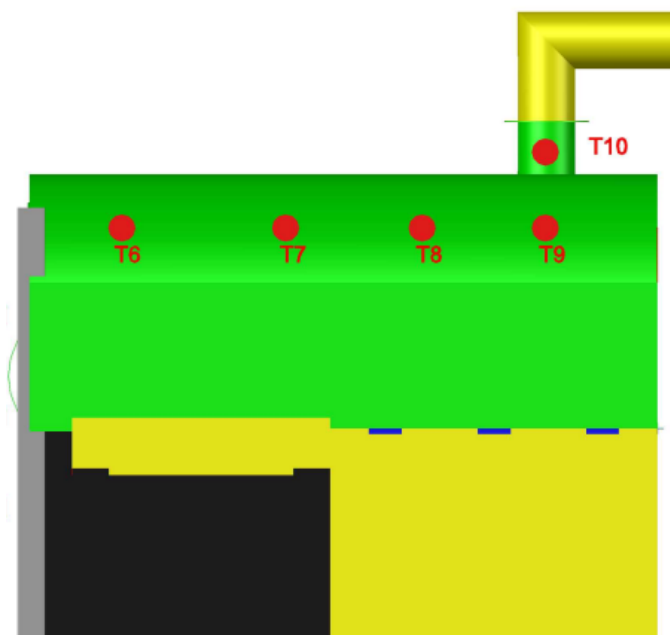


Figura 23. Puntos de medición laterales y chimenea [Fuente: Propia].

2.3.4 Resistencia eléctricas de horno prototipo

La cámara principal tiene 10 resistencias en la cámara principal y 5 en la cámara secundaria, cada una con las siguientes características:

Material: Kantahal 1

Diámetro: 1 mm

Diámetro de espira: 10 mm

Resistencia: 48 Ohmios

Temperatura en la superficie: 1200°C

Potencia: 1000 W



Figura 24. Resistencias eléctricas empotradas [Fuente: Propia].

2.4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL INCINERADOR

El objetivo de las pruebas es medir el tiempo de incineración que le toma al horno incinerador reducir a cenizas la carga ingresada y comparar las curvas de temperatura resultantes.

Prueba de curado N° 1

Se realiza la primera prueba de curado del horno incinerador, se revisa la parte eléctrica y las fugas de calor en el exterior del horno.

Tabla 2. Primera prueba de curado de horno incinerador [Fuente: Propia].

Tiempo (min)	Temperatura (°C) Visor
10:27	197
10:37	200
10:47	204
10:57	208
11:07	214
11:17	218
11:27	220
11:37	223
11:47	226
11:57	228
12:07	230
12:17	234
12:27	238
12:37	240
12:47	242
12:57	243
13:07	247
13:17	247
13:27	252
13:37	253
13:47	255
13:57	256
14:07	258

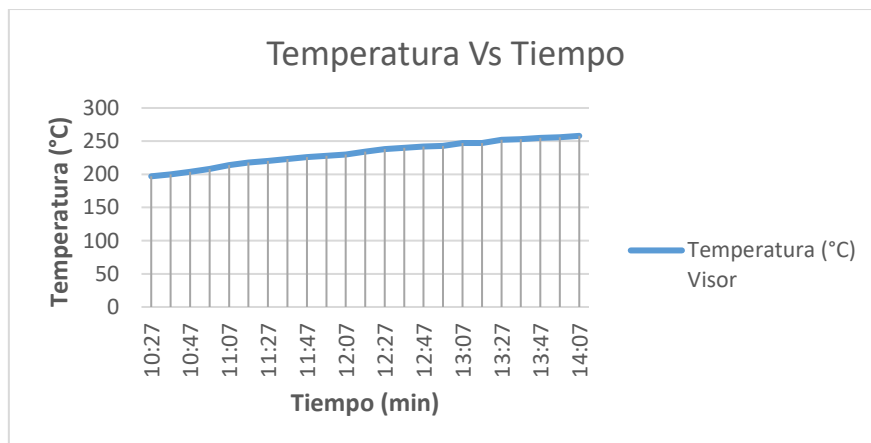


Figura 25. Calentamiento de curado con 11 kW [Fuente: Propia].

En la figura 25 se observa el aumento de temperatura respecto al tiempo transcurrido, se establece el tiempo de medición en 10 minutos y el incremento de temperatura tiene un promedio de 3°C. En la tabla 2 se observa el tiempo total transcurrido de 3 horas 40 minutos y un aumento total de temperatura de 61°C.

Prueba de curado N° 2

Para la segunda prueba de curado se eleva la potencia de la cámara principal a 15 kW y se realizan los trabajos de pintura de la plancha metálica externa. La prueba se inicia a las 11:30 con una temperatura interna de precalentamiento de 331°C.



Figura 26. Pintura externa de horno incinerador [Fuente: Propia].

Tabla 3. Segunda prueba de curado de horno incinerador [Fuente: Propia].

Tiempo (min)	Temperatura (°C) Visor
11:30	331
12:00	352
12:30	371
13:00	387
13:30	404

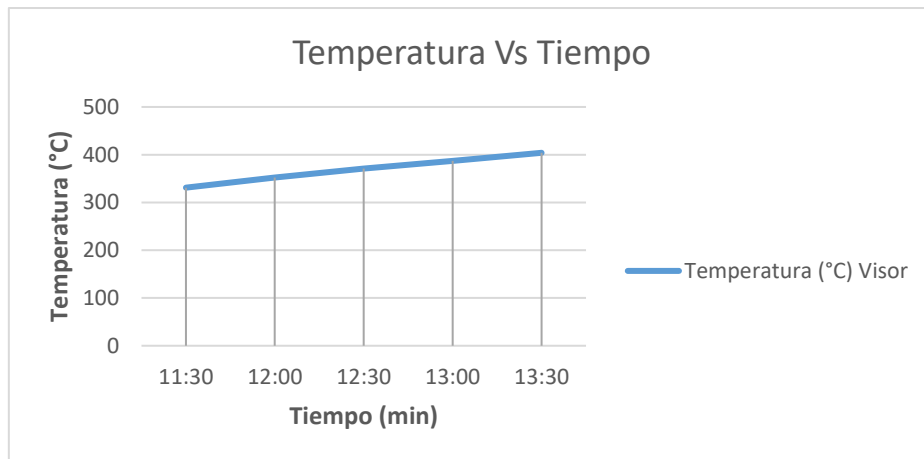


Figura 27. Calentamiento de curado con 15 kW [Fuente: Propia].

En la figura 27 se observa el aumento de temperatura respecto al tiempo transcurrido, se establece el tiempo de medición de 30 minutos y el incremento de temperatura tiene un promedio de 18°C. En la tabla 3 se observa el tiempo total transcurrido de 2 horas y tiene un aumento de temperatura total de 73°C.

Prueba de incineración N° 1

Objetivos

Medir el tiempo de incineración de la carga

Medir la temperatura de incineración

Medir el amperaje consumido de cada fase

Materiales

Horno incinerador prototipo

Potencia de trabajo 11 kW

Tiempo de uso 6 horas 40 minutos

Cronómetro

Visor de temperatura

Termocupla

Pirómetro

Carga 8.6 kg

Multímetro

Actividades antes de la prueba

Introducir carga el interior del horno incinerador

Verificar el estado de los materiales y fugas de calor

Utilizar el equipo de protección necesario

Procedimiento

1. Medir la temperatura interna del horno antes de abrir la compuerta principal
Temperatura = 79°C
2. Medir el tiempo al inicio de la incineración de la carga
Tiempo = 07:50
3. Colocar la carga al interior del horno
4. Colocar la temperatura de visor en la escogida para la prueba
Visor = 600°C



Figura 28. Carga, 2 cabezas de cerdo grandes, 8.6 kg [Fuente: Propia].

5. Medir el tiempo total de incineración de la carga

Tabla 4. Tiempo y temperatura de incineración de carga [Fuente: Propia].

Tiempo (min)	Temperatura (°C) Visor
7:50	79
8:25	270
8:40	233
8:50	250
9:05	263
9:20	273
9:35	282
9:50	291
10:05	298
10:30	306

Tiempo (min)	Temperatura (°C) Visor
10:50	318
11:05	326
11:20	331
11:50	341
12:05	350
12:20	351
12:35	339
12:50	355
13:05	362
13:20	369
13:35	373
13:50	378
13:57	368
14:16	353
14:21	348
14:30	344

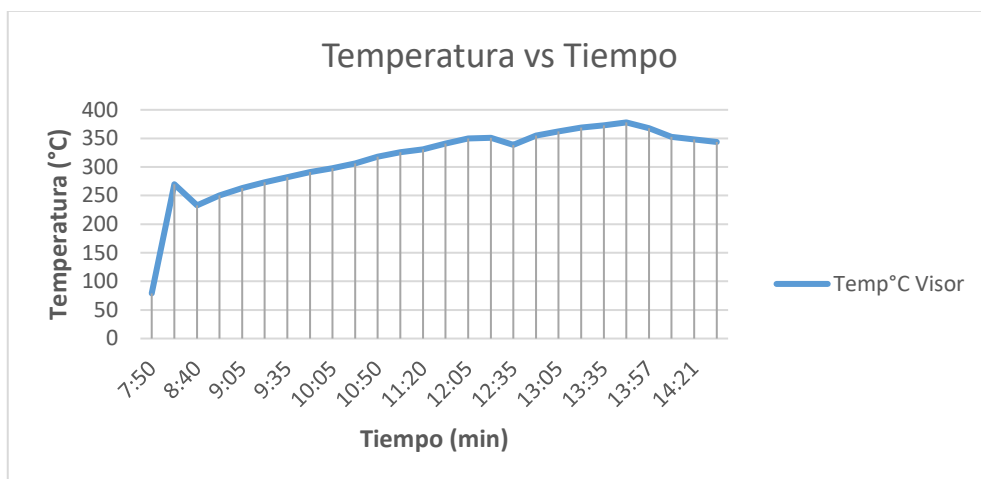


Figura 29. Temperatura vs tiempo prueba 1 [Fuente: Propia].

6. Medir amperaje de fases

Tabla 5. Medición de amperios en cada fase [Fuente: Propia].

Temperatura (°C) Visor	Intensidad (A)		
	F3	F2	F1
79	51	27	41
270	51	26	39
233	52	28	41
250	52	30	42
263	51	29	39
273	51	28	42
282	51	29	42

	Temperatura (°C) Visor	Intensidad (A)		
		F3	F2	F1
	291	50	28	42
	298	51	30	42
	306	51	30	41
	318	51	30	42
	326	51	30	39
	331	51	31	41
	341	51	30	41
	350	51	30	41
	351	39	29	29
	339	51	29	41
	355	51	29	41
	362	51	29	41
	369	51	29	41
	373	51	29	41
	378	51	29	41
Promedio	306	51	29	40
Mínima	79	39	26	29
Máxima	378	52	31	42

7. Medir temperatura externa del incinerador

Tabla 6. Temperatura de puntos de medición externa del horno [Fuente: Propia].

Tiempo (min)	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
10:30	48	41	34	28	30	29	29	26	26	56
10:50	54	48	47	37	30	31	30	25	28	71
11:05	58	53	38	34	34	33	30	25	30	74
11:20	60	54	40	35	36	34	31	26	30	75
11:50	62	55	41	36	33	35	32	26	31	76
12:05	63	55	41	36	32	32	30	26	31	77
12:20	64	57	42	36	33	32	29	25	30	76
12:35	66	58	41	35	30	28	23	24	29	78
12:50	67	60	44	37	31	32	30	22	30	83
13:05	67	60	44	38	32	32	30	24	31	84
13:20	67	60	45	40	30	32	29	23	30	86
13:35	69	61	45	39	32	33	30	26	32	87
13:50	71	61	46	40	33	33	30	25	31	87
Temperatura promedio	63	56	42	36	32	32	29	25	30	78
Temperatura máxima	71	61	47	40	36	35	32	26	32	87

8. Dejar enfriar el horno hasta una temperatura segura

Apagado de horno: miércoles 07/12/2022 a las 14:30 a una temperatura de 344°C en el visor

Apertura de puerta principal: jueves 08/12/2022 a las 08:00 a una temperatura de 90°C en el visor

Descenso de temperatura = 254°C

Tiempo de enfriado = 17 horas 30 minutos

9. Retiro de restos incinerador

En los primeros resultados se puede observar la incineración de partes externas, quedan restos de huesos que no se incineraron en su totalidad.



Figura 30. Retiro de restos prueba 1 [Fuente: Propia].

Prueba de incineración N° 2

Objetivos

Medir el tiempo de incineración de la carga

Medir la temperatura de incineración

Medir el amperaje consumido de cada fase

Materiales

Horno incinerador prototipo

Potencia de trabajo 15 kW

Tiempo de uso 2 horas 40 minutos

Cronómetro

Visor de temperatura

Termocupla

Pirómetro

Carga 7 kg

Multímetro

Actividades antes de la prueba

Introducir carga el interior del horno incinerador

Verificar el estado de los materiales y fugas de calor

Utilizar el equipo de protección necesario

Procedimiento

1. Medir la temperatura interna del horno antes de abrir la compuerta principal
Temperatura = 400°C
2. Medir el tiempo al inicio de la incineración de la carga
Tiempo = 10:20
3. Colocar la carga al interior del horno
4. Colocar la temperatura de visor en la escogida para la prueba
Visor = 600°C



Figura 31. Carga, 2 cabezas de cerdo, 7 kg [Fuente: Propia].

5. Medir el tiempo total de incineración de la carga

Tabla 7. Tiempo y temperatura de incineración de carga [Fuente: Propia].

Tiempo (min)	Temperatura (°C) Visor
10:20	400
10:30	408
10:40	416
10:50	426
11:00	577
11:10	556
11:20	549
11:30	556
11:40	554

Tiempo (min)	Temperatura (°C) Visor
11:50	540
12:00	473
12:10	453
12:20	478
12:40	489
13:00	523

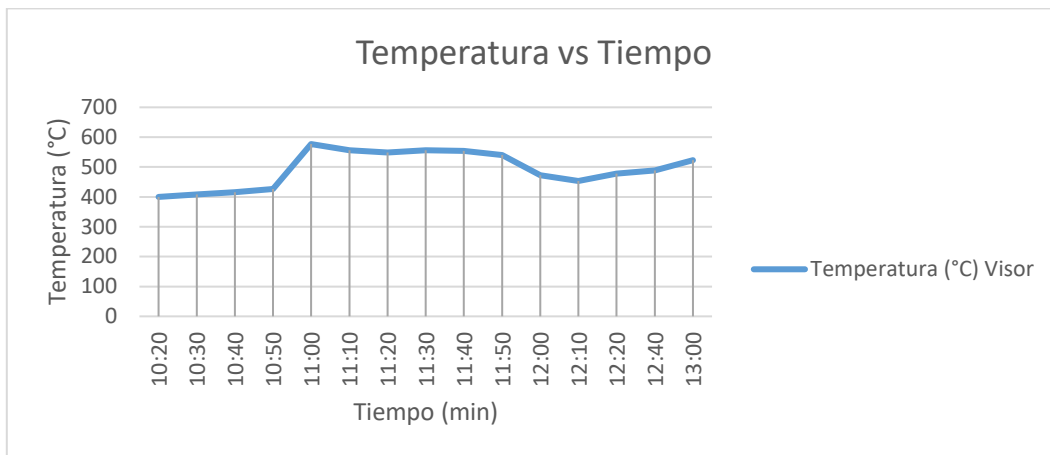


Figura 32. Temperatura vs tiempo prueba 2 [Fuente: Propia].

6. Medir amperaje de fases

Tabla 8. Medición de amperios en cada fase [Fuente: Propia].

Temperatura (°C) Visor	Intensidad (A)			
	F3	F2	F1	
400	61	41	42	
408	67	47	41	
416	68	47	42	
426	68	47	41	
577	68	48	41	
556	68	47	42	
549	68	48	42	
556	67	47	42	
554	68	48	42	
540	41	29	18	
473	41	28	18	
453	68	48	41	
478	68	47	41	
489	67	47	42	
523	67	47	42	
Promedio	493	64	44	38
Mínima	400	41	28	18
Máxima	577	68	48	42

7. Dejar enfriar el horno hasta una temperatura segura

Apagado de horno: lunes 12/12/2022 a las 13:00 a una temperatura de 523°C en el visor

Apertura de puerta principal: martes 13/12/2022 a las 08:00 a una temperatura de 110°C

Descenso de temperatura = 413°C

Tiempo de enfriado = 19 horas

8. Retiro de restos incinerador

El segundo resulta elevando la potencia de la cámara a 15 kW se obtiene una incineración total con huesos que al tacto de desmoronan.



Figura 33. Retiro de restos prueba 2 [Fuente: Propia].

Prueba de incineración N° 3

Para esta prueba se abre la compuerta inferior con el fin de que entre aire que ayude en la combustión de la carga.

Objetivos

Medir el tiempo de incineración de la carga

Medir la temperatura de incineración

Medir el amperaje consumido de cada fase

Materiales

Horno incinerador prototipo

Potencia de trabajo 15 kW

Apertura de compuerta corrediza 0.026 m² (Entrada de aire)

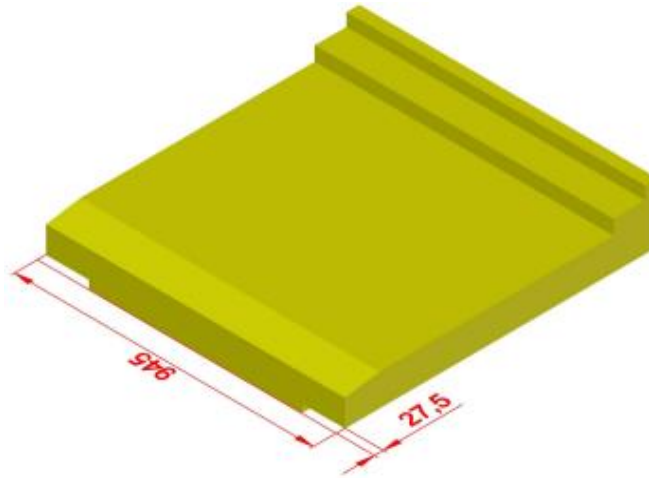


Figura 34. Apertura de compuerta para entrada de aire [Fuente: Propia].

Tiempo de uso 3 horas 32 minutos

Cronómetro

Visor de temperatura

Termocupla

Pirómetro

Carga de 6 Kg

Multímetro

Actividades antes de la prueba

Introducir carga el interior del horno incinerador

Verificar el estado de los materiales y fugas de calor

Utilizar el equipo de protección necesario

Procedimiento

1. Medir la temperatura interna del horno antes de abrir la compuerta principal
Temperatura = 29°C
Temperatura Ambiente = 17°C
2. Medir el tiempo al inicio de la incineración de la carga
Tiempo = 07:53
3. Colocar la carga al interior del horno
4. Colocar la temperatura de visor en la escogida para la prueba
Visor = 400°C



Figura 35. Carga, 1 cabeza de cerdo grande, 6 kg [Fuente: Propia].

5. Medir el tiempo total de incineración de la carga

Tabla 9. Tiempo y temperatura de incineración de carga [Fuente: Propia].

Tiempo (min)	Temperatura (°C) Visor
7:53	29
9:38	102
9:55	209
10:05	236
10:20	258
10:35	281
10:50	313
11:05	326
11:20	337
11:35	357
11:50	368
12:05	383
12:20	398
12:35	400
12:45	400
12:54	338
13:10	345

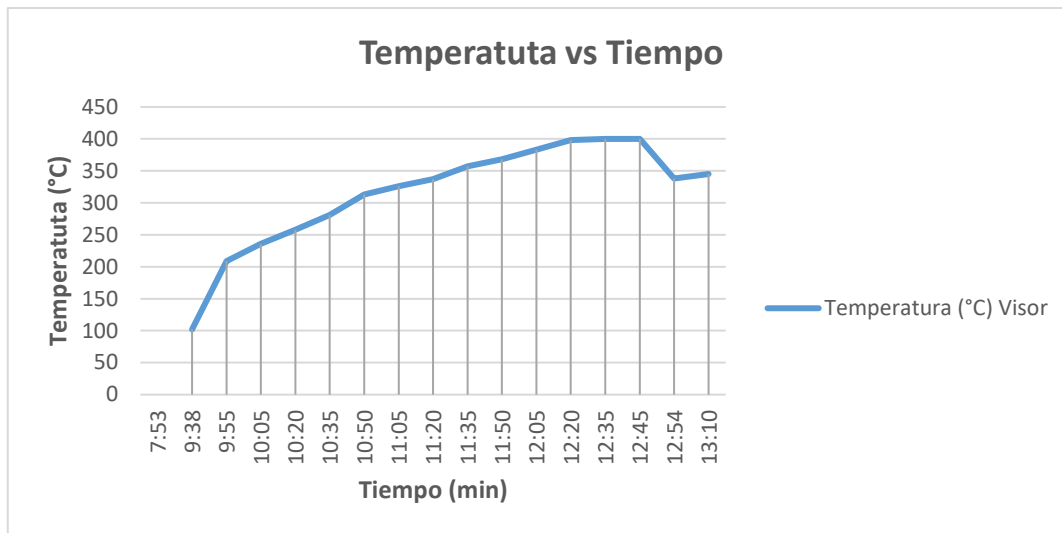


Figura 36. Temperatura vs tiempo prueba 3 [Fuente: Propia].

6. Medir amperaje de fases

Tabla 10. Medición de amperios en cada fase [Fuente: Propia].

Temperatura (°C) Visor	Intensidad (A)			
	F3	F2	F1	
102	69	47	42	
209	68	48	41	
236	67	47	42	
258	68	48	41	
281	67	48	42	
313	68	48	42	
326	68	48	42	
337	68	48	42	
357	68	48	42	
368	69	48	42	
383	69	47	43	
398	69	48	42	
400	69	49	43	
400	37	30	25	
338	37	30	25	
345	36	29	25	
Promedio	316	62	44	39
Mínima	102	36	29	25
Máxima	400	69	49	43

7. Medir temperatura externa del incinerador

Tabla 11. Temperatura de puntos de medición externa del horno [Fuente: Propia].

Tiempo (min)	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T 11
9:38	18	18	18	18	24	26	33	21	23	19
9:55	19	19	19	19	25	28	29	26	25	20
10:05	20	20	20	20	29	29	31	24	26	20
10:20	21	21	21	21	31	34	31	36	29	21
10:35	22	22	23	23	34	38	34	37	30	23
10:50	23	23	24	24	32	38	32	26	31	25
11:05	25	25	26	26	33	35	33	25	31	28
11:20	27	27	28	27	34	37	33	26	32	34
11:35	28	29	31	30	39	42	37	28	33	38
11:50	30	30	32	31	36	41	38	28	34	40
12:05	31	31	34	31	36	40	36	28	34	45
12:20	33	33	36	34	39	43	38	29	35	54
12:35	36	35	39	35	39	41	40	31	35	62
12:45	37	36	39	37	40	46	43	32	35	64
12:54	38	38	38	41	36	43	45	32	33	75
13:10	40	40	44	37	39	37	33	41	30	76
Temperatura promedio	28	28	29	28	34	37	35	29	31	40
Temperatura máxima	40	40	44	41	40	46	45	41	35	76

8. Dejar enfriar el horno hasta una temperatura segura

Apagado de horno: jueves 15/12/2022 a las 13:10 a una temperatura de 345°C en el visor

Apertura de puerta principal: jueves 15/12/2022 a las 14:30 a una temperatura de 210°C

Descenso de temperatura = 135°C

Tiempo de enfriado = 1 horas 20 minutos

9. Retiro de restos incinerador

El tiempo y temperatura de incineración es menor a las dos primeras pruebas, no se obtiene una incineración total.



Figura 37. Retiro de restos prueba 3 [Fuente: Propia].

Prueba de incineración N° 4

Para poder cerrar la compuerta inferior se realizan nueve orificios de un diámetro de 0.0127 m (1/2 pulgada). Para la entrada de aire para la incineración de la carga.

Objetivos

Medir el tiempo de incineración de la carga

Medir la temperatura de incineración

Medir el amperaje consumido de cada fase

Materiales

Horno incinerador prototipo

Potencia de trabajo 15 kW

Apertura de agujeros de puerta corrediza 0.001140 m² (Entrada de aire de orificios)

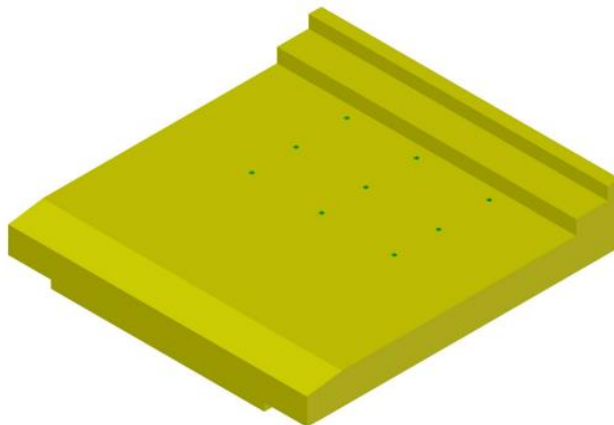


Figura 38. Agujeros de compuerta para entrada de aire [Fuente: Propia].

Tiempo de uso 4 horas 10 minutos

Cronómetro

Visor de temperatura

Termocupla

Carga de 4,5 Kg

Pirómetro



Figura 39. Pirómetro para medición de temperatura [Fuente: Propia].

Multímetro



Figura 40. Multímetro para medición de amperaje [Fuente: Propia].

Actividades antes de la prueba

Introducir carga el interior del horno incinerador

Verificar el estado de los materiales y fugas de calor

Utilizar el equipo de protección necesario

Procedimiento

1. Medir la temperatura interna del horno antes de abrir la compuerta principal
Temperatura = 158°C
Temperatura Ambiente = 17°C
2. Medir el tiempo al inicio de la incineración de la carga
Tiempo = 10:30
3. Colocar la carga al interior del horno
4. Colocar la temperatura de visor en la escogida para la prueba
Visor = 480°C



Figura 41. Carga, 1 cabeza de cerdo grande, 4.5 kg [Fuente: Propia].

5. Medir el tiempo total de incineración de la carga

Tabla 12. Tiempo y temperatura de incineración de carga [Fuente: Propia].

Tiempo (min)	Temperatura (°C) Visor
10:30	158
10:40	188
10:50	215
11:00	236
11:10	257
11:20	272
11:30	286
11:40	300
11:50	315
12:00	329
12:10	339
12:20	351
12:30	356
12:40	372
12:50	382
13:00	392
13:30	397
13:40	397
13:50	407
14:00	409
14:10	415
14:20	422
14:30	426
14:40	432

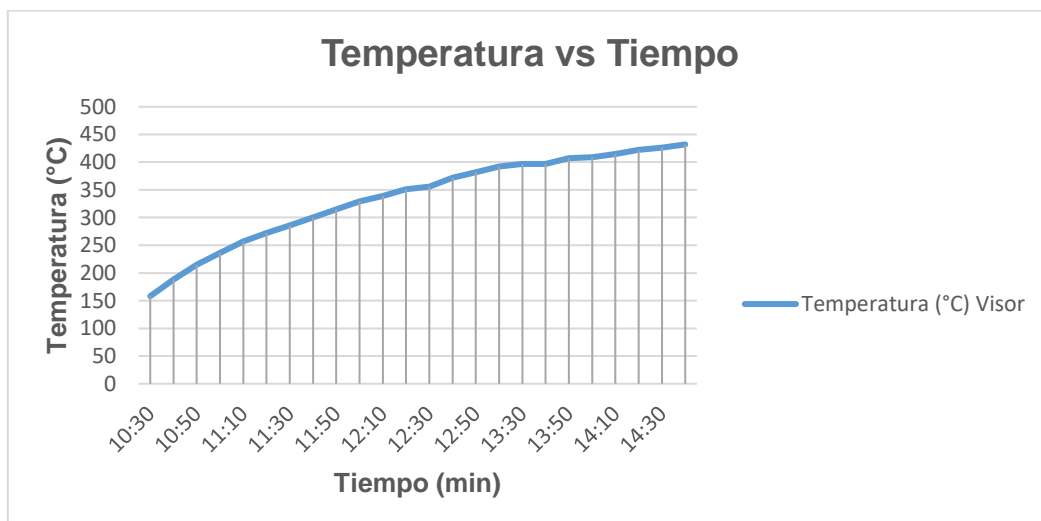


Figura 42. Temperatura vs tiempo prueba 4 [Fuente: Propia].

6. Medir amperaje de fases

Tabla 13. Medición de amperios en cada fase [Fuente: Propia].

Temperatura (°C) Visor	Intesidad (A)			
	F3	F2	F1	
158	68	48	42	
188	67	47	40	
215	68	47	41	
236	68	48	42	
257	67	48	42	
272	68	48	42	
286	68	47	42	
300	69	48	43	
315	69	49	43	
329	67	47	42	
339	67	47	42	
351	68	48	42	
356	68	46	41	
372	67	47	42	
382	68	47	41	
392	67	48	42	
397	68	48	42	
397	68	48	41	
407	68	47	41	
409	68	47	41	
415	68	48	41	
422	68	48	42	
426	67	48	42	
432	67	47	42	
Promedio	336	68	48	42
Mínima	158	67	46	40
Máxima	432	69	49	43

7. Medir temperatura externa del incinerador

Tabla 14. Temperatura de puntos de medición externa del horno [Fuente: Propia].

Tiempo (min)	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T 11
10:30	21	23	21	21	30	35	34	26	26	20
10:40	21	23	21	22	31	33	34	29	26	19
10:50	21	23	21	22	31	36	34	29	26	20
11:00	22	23	22	23	31	36	34	29	27	20
11:10	22	24	23	23	36	37	34	28	28	21
11:20	23	25	24	24	35	38	35	28	28	22
11:30	24	26	25	25	36	38	34	30	28	24
11:40	25	27	26	26	36	40	34	30	31	27

Tiempo (min)	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T 11
11:50	26	28	28	27	37	41	37	32	30	30
12:00	27	29	29	28	37	41	41	31	30	33
12:10	28	29	29	29	42	43	39	30	31	36
12:20	29	31	32	30	35	42	38	31	32	41
12:30	30	32	33	31	40	45	40	31	32	43
12:40	31	33	33	32	36	40	37	31	30	48
12:50	31	33	34	32	35	37	35	29	30	54
13:00	33	33	35	33	34	35	34	29	29	59
13:30	35	35	36	35	32	35	32	28	30	78
13:40	36	36	40	35	33	35	32	27	30	80
13:50	37	37	40	37	37	39	33	30	31	86
14:00	37	41	40	38	37	40	33	30	31	88
14:10	38	41	41	38	40	39	33	28	31	92
14:20	37	39	44	38	32	30	26	26	31	96
14:30	39	41	44	41	30	31	30	26	32	100
14:40	40	44	44	40	29	31	30	26	31	104
Temperatura promedio	30	31	32	30	35	37	34	29	30	52
Temperatura máxima	40	44	44	41	42	45	41	32	32	104

8. Dejar enfriar el horno hasta una temperatura segura

Apagado de horno: jueves 21/12/2022 a las 14:40 a una temperatura de 432°C en el visor

Apertura de puerta principal: jueves 21/12/2022 a las 15:30 a una temperatura de 272°C

Descenso de temperatura = 160°C

Tiempo de enfriado = 50 minutos

9. Retiro de restos incinerador

Se tiene restos de huesos con incineración parcial.



Figura 43. Retiro de restos prueba 4 [Fuente: Propia].

Prueba de incineración N° 5

Objetivos

Medir el tiempo de incineración de la carga

Medir la temperatura de incineración

Materiales

Horno incinerador prototipo

Potencia de trabajo 15 kW

Apertura de agujeros de puerta corrediza 0.001140 m² (Entrada de aire de orificios)

Tiempo de uso 7 horas 25 minutos

Cronómetro

Visor de temperatura

Termocupla

Carga de 5.6 kg

Actividades antes de la prueba

Introducir carga el interior del horno incinerador

Verificar el estado de los materiales y fugas de calor

Utilizar el equipo de protección necesario

Procedimiento

1. Medir la temperatura interna del horno antes de abrir la compuerta principal
 Temperatura = 144°C
 Temperatura Ambiente = 15.2°C
2. Medir el tiempo al inicio de la incineración de la carga
 Tiempo = 08:35
3. Colocar la carga al interior del horno
4. Colocar la temperatura de visor en la escogida para la prueba
 Visor = 500°C



Figura 44. Carga, 1 cabeza de cerdo grande, 5.6 kg [Fuente: Propia].

5. Medir el tiempo total de incineración de la carga

Tabla 15. Tiempo y temperatura de incineración de carga [Fuente: Propia].

Tiempo (min)	Temperatura (°C) Visor
8:35	144
8:45	180
8:55	211
9:05	225
9:15	246
9:25	259
9:35	274
9:45	286
10:10	303
10:20	310
10:30	322

Tiempo (min)	Temperatura (°C) Visor
10:40	328
10:50	331
11:00	343
11:10	350
11:20	357
11:30	365
11:40	370
11:50	375
12:00	380
12:10	387
12:20	392
12:30	399
12:40	406
12:50	410
13:00	415
13:10	422
13:20	496
13:30	470
13:40	451
13:50	463
14:00	483
14:10	484
14:20	491
14:30	491
14:40	486
14:50	491
15:00	496
15:10	500
15:20	499
15:30	497
15:40	492
15:50	493
16:00	493

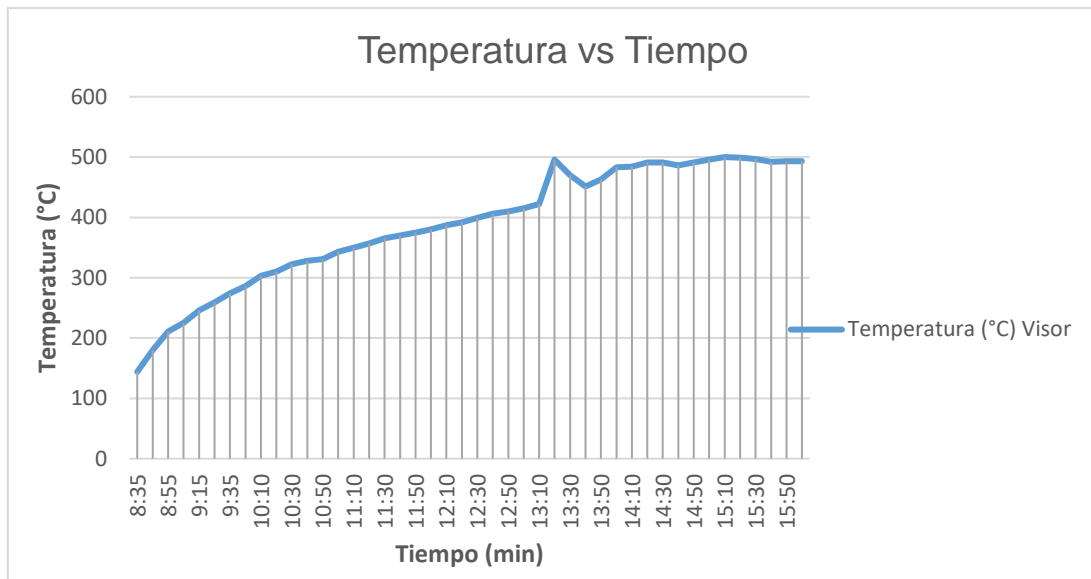


Figura 45. Temperatura vs tiempo prueba 5 [Fuente: Propia].

6. Medir temperatura externa del incinerador

Tabla 16. Temperatura de puntos de medición externa del horno [Fuente: Propia].

Tiempo (min)	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T 11
8:35	14	14	14	14	15	16	16	15	17	17
8:45	14	14	14	15	16	17	16	15	17	17
8:55	14	15	14	15	17	18	17	16	19	18
9:05	14	15	15	15	17	20	18	16	19	19
9:15	15	16	16	16	18	19	19	17	20	20
9:25	16	16	17	17	20	22	20	17	21	21
9:35	17	17	18	17	21	26	23	18	23	22
9:45	18	18	20	19	21	23	23	19	25	26
10:10	21	21	23	21	25	30	27	21	25	29
10:20	21	23	23	22	26	29	26	20	25	31
10:30	23	25	25	24	26	29	30	23	27	36
10:40	24	25	26	25	27	30	30	23	27	39
10:50	25	26	26	26	31	34	31	23	27	43
11:00	26	28	29	27	31	35	33	23	27	46
11:10	27	29	30	28	31	34	32	24	28	52
11:20	28	29	31	29	33	36	32	24	29	55
11:30	29	30	32	29	32	34	33	26	29	62
11:40	29	30	33	30	34	38	34	25	29	66
11:50	30	31	34	31	34	39	35	25	30	70
12:00	32	32	36	32	35	41	35	27	31	74
12:10	32	34	37	33	33	39	34	27	30	79
12:20	34	34	38	35	33	34	36	26	31	85
12:30	34	34	39	35	36	41	35	27	30	91

Tiempo (min)	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T 11
12:40	35	36	41	37	35	41	37	27	33	94
12:50	36	36	41	38	37	41	36	27	32	99
13:00	37	38	42	38	38	43	38	27	32	102
13:10	38	38	42	39	40	43	38	28	33	107
13:20	38	37	41	39	35	38	35	25	34	108
13:30	38	37	43	39	32	33	33	25	32	114
13:40	39	37	42	40	32	31	31	25	32	117
13:50	39	38	45	41	32	34	31	25	31	118
14:00	40	38	46	42	31	33	30	25	33	117
14:10	40	39	46	15	31	34	30	25	31	121
14:20	40	40	47	42	30	32	29	24	31	122
14:30	39	42	47	43	29	31	29	25	34	126
14:40	40	40	49	43	32	34	30	25	33	128
14:50	41	40	49	46	31	33	29	23	35	130
15:00	42	41	50	44	29	31	28	23	37	132
15:10	43	44	51	45	29	30	27	23	37	136
15:20	44	44	52	48	29	30	27	23	37	137
15:30	43	40	53	45	28	29	26	22	38	143
15:40	44	40	53	48	28	28	25	22	38	145
15:50	48	47	55	47	28	29	25	21	40	150
16:00	48	47	54	47	28	29	25	21	39	151
Temperatura promedio	32	32	36	32	29	32	29	23	30	82
Temperatura máxima	48	47	55	48	40	43	38	28	40	151

7. Dejar enfriar el horno hasta una temperatura segura

Apagado de horno: miércoles 04/01/2023 a las 16:00 a una temperatura de 493°C en el visor

Apertura de puerta principal: miércoles 04/01/2023 a las 16:40 a una temperatura de 318°C

Descenso de temperatura = 175°C

Tiempo de enfriado = 40 minutos

8. Retiro de restos incinerador

La carga sale totalmente incinerada.



Figura 46. Retiro de restos prueba 5 [Fuente: Propia].

Prueba de incineración N° 6

Objetivos

Medir el tiempo de incineración de la carga

Medir la temperatura de incineración

Materiales

Horno incinerador prototipo

Potencia de trabajo 15 kW

Apertura de agujeros de puerta corrediza 0.001140 m² (Entrada de aire de orificios)

Tiempo de uso 5 horas 20 minutos

Cronómetro

Visor de temperatura

Termocupla

Carga de 8 Kg

Actividades antes de la prueba

Introducir carga el interior del horno incinerador

Verificar el estado de los materiales y fugas de calor

Utilizar el equipo de protección necesario

Procedimiento

1. Medir la temperatura interna del horno antes de abrir la compuerta principal
Temperatura = 106°C
Temperatura Ambiente = 17°C
2. Medir el tiempo al inicio de la incineración de la carga
Tiempo = 07:20
3. Colocar la carga al interior del horno
4. Colocar la temperatura de visor en la escogida para la prueba
Visor = 550°C



Figura 47. Carga, 1 cabeza de cerdo y una pata de res, 8 kg [Fuente: Propia].

5. Medir el tiempo total de incineración de la carga

Tabla 17. Tiempo y temperatura de incineración de carga [Fuente: Propia].

Tiempo (min)	Temperatura (°C) Visor
7:20	106
7:30	160
7:40	190
7:50	210
8:00	232
6:10	256
8:20	268
8:30	280
8:40	196
8:50	300
9:00	448
9:10	458
9:20	494

Tiempo (min)	Temperatura (°C) Visor
9:30	492
9:40	534
9:50	519
10:00	483
10:10	469
10:20	460
10:30	443
10:40	456
10:50	458
11:00	463
11:10	464
11:20	466
11:30	468
11:40	473
11:50	474
12:00	461
12:10	462
12:20	463
12:30	465
12:40	466

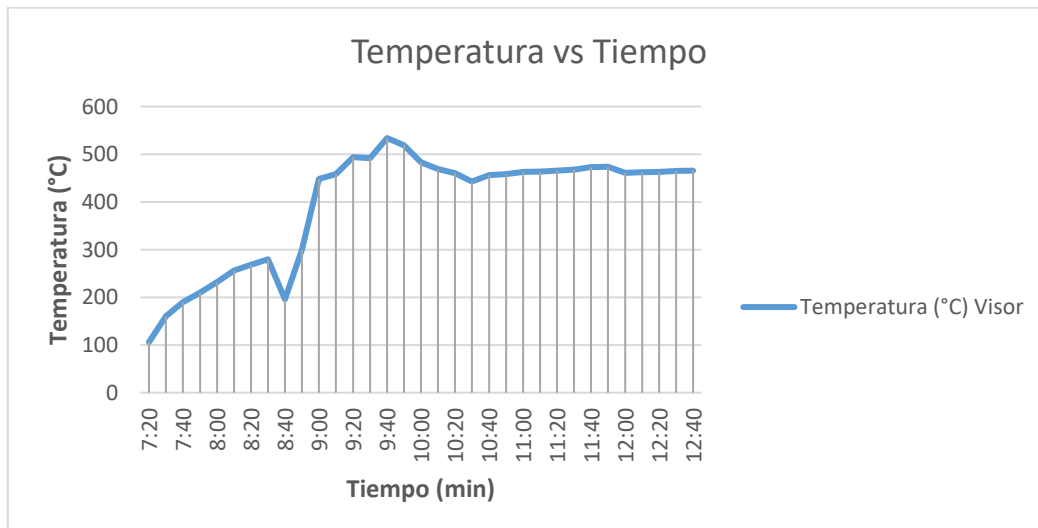


Figura 48. Temperatura vs tiempo prueba 6 [Fuente: Propia].

6. Medir temperatura externa del incinerador

Tabla 18. Temperatura de puntos de medición externa del horno [Fuente: Propia].

Tiempo (min)	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T 11
8:20	17	18	17	17	14	15	17	14	18	21
8:30	17	18	18	17	14	15	17	14	18	22
8:40	18	18	18	16	14	15	18	14	19	24
8:50	18	19	19	18	14	15	18	14	21	27
9:00	19	20	21	19	16	18	22	16	23	31
9:10	21	22	22	19	18	20	23	16	23	32
9:20	23	23	24	21	20	23	26	19	26	36
9:30	25	26	25	22	22	26	27	20	29	38
9:40	27	27	27	23	23	29	26	21	30	42
9:50	29	29	29	24	25	30	26	23	32	47
10:00	30	29	32	25	27	32	28	23	34	52
10:10	32	31	33	27	28	33	28	25	32	53
10:20	33	31	27	31	27	23	26	22	32	64
10:30	33	33	35	28	27	30	27	24	30	68
10:40	34	32	37	30	31	35	29	26	32	73
10:50	36	32	39	30	32	38	31	25	32	79
11:00	37	34	36	31	34	39	30	27	34	86
11:10	41	35	41	32	35	40	32	30	33	90
11:20	39	38	43	33	34	41	33	29	35	94
11:30	39	39	44	33	35	42	34	28	35	99
11:40	40	38	45	34	39	43	38	30	36	103
11:50	42	40	47	35	39	43	36	32	36	107
12:00	41	38	48	34	35	43	36	31	37	116
12:10	42	41	48	37	40	43	37	33	38	113
12:20	43	43	50	37	38	41	35	31	37	118
12:30	42	42	49	36	36	39	34	29	37	120
12:40	43	39	52	36	36	39	34	29	37	124
Temperatura promedio	32	31	34	27	28	31	28	24	31	69
Temperatura máxima	43	43	52	37	40	43	38	33	38	124

7. Dejar enfriar el horno hasta una temperatura segura

Apagado de horno: lunes 16/01/2023 a las 12:40 a una temperatura de 466°C en el visor

Apertura de puerta principal: lunes 16/01/2023 a las 13:40 a una temperatura de 268°C

Descenso de temperatura = 198°C

Tiempo de enfriado = 40 minutos

8. Retiro de restos incinerador

La carga sale totalmente incinerada.



Figura 49. Gases de chimenea de prueba 6 [Fuente: Propia].



Figura 50. Retiro de restos prueba 6 [Fuente: Propia].

Prueba de incineración N° 7

Objetivos

Medir el tiempo de incineración de la carga

Medir la temperatura de incineración

Medir el amperaje consumido de cada fase

Materiales

Horno incinerador prototipo

Potencia de trabajo 15 kW

Apertura de agujeros de puerta corrediza 0.001140 m² (Entrada de aire de orificios)

Tiempo de uso 5 horas 33 minutos

Cronómetro

Visor de temperatura

Termocupla

Carga de 7,7 kg

Multímetro

Actividades antes de la prueba

Introducir carga el interior del horno incinerador

Verificar el estado de los materiales y fugas de calor

Utilizar el equipo de protección necesario

Procedimiento

1. Medir la temperatura interna del horno antes de abrir la compuerta principal
Temperatura = 52°C
Temperatura Ambiente = 17°C
2. Medir el tiempo al inicio de la incineración de la carga
Tiempo = 07:27
3. Colocar la carga al interior del horno
4. Colocar la temperatura de visor en la escogida para la prueba
Visor = 600°C



Figura 51. Carga, cuatro patas de res cortadas en pedazos, 7.7 kg [Fuente: Propia].

5. Medir el tiempo total de incineración de la carga

Tabla 19. Tiempo y temperatura de incineración de carga [Fuente: Propia].

Tiempo (min)	Temperatura (°C) Visor
7:27	52
7:30	126
7:40	185
7:50	214
8:00	237
8:10	255
8:20	264
8:30	276
8:40	288
8:50	297
9:00	306
9:10	314
9:20	324
9:30	334
9:40	347
9:50	352
10:00	358
10:10	373
10:20	377
10:30	386
10:40	393
10:50	404
11:00	409

Tiempo (min)	Temperatura (°C) Visor
11:10	413
11:20	417
11:30	423
11:40	428
11:50	434
12:00	433
12:10	437
12:20	442
12:30	448
12:40	455
12:50	461
13:00	463

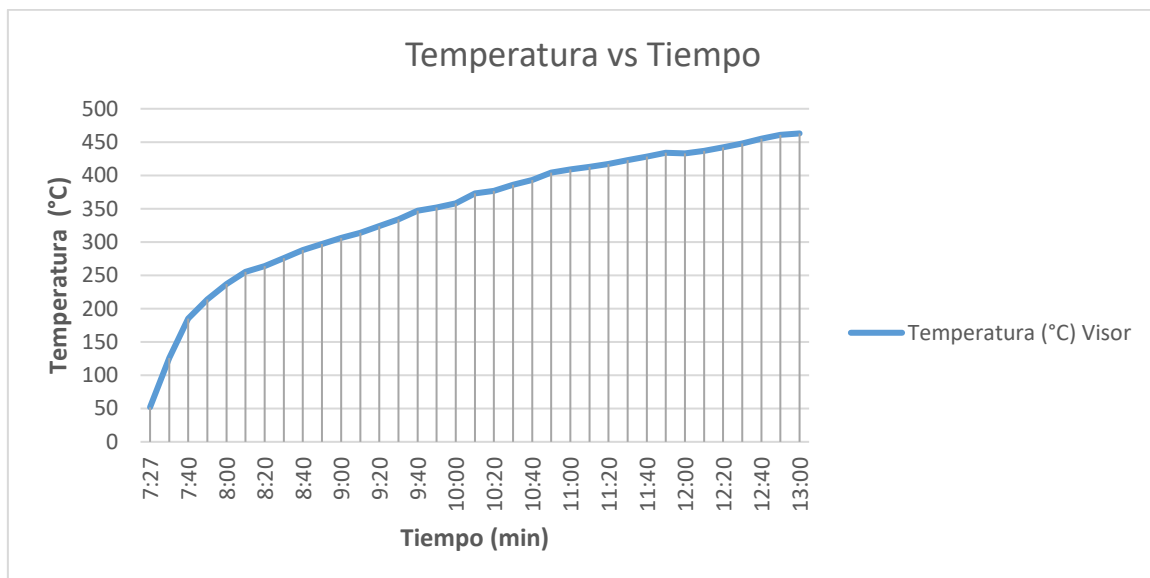


Figura 52. Temperatura vs tiempo prueba 7 [Fuente: Propia].

6. Medir amperaje de fases

Tabla 20. Medición de amperios en cada fase [Fuente: Propia].

Temperatura (°C) Visor	Intensidad (A)		
	F3	F2	F1
288	59	42	41
297	63	42	37
306	63	44	38
314	64	43	39
324	64	43	39
334	64	43	38
347	64	45	39
352	64	45	37

Temperatura (°C) Visor	Intensidad (A)			
	F3	F2	F1	
358	65	43	39	
373	64	43	39	
377	63	42	38	
386	64	45	39	
393	64	43	38	
404	65	45	44	
409	65	46	39	
413	64	45	39	
417	64	44	38	
423	65	46	39	
428	63	46	39	
434	64	44	39	
433	66	45	37	
437	63	44	38	
442	62	46	39	
448	65	44	38	
455	63	45	39	
461	63	46	39	
463	66	43	39	
Promedio	389	64	44	39
Mínima	288	59	42	37
Máxima	463	66	46	44

7. Medir temperatura externa del incinerador

Tabla 21. Temperatura de puntos de medición externa del horno [Fuente: Propia].

Tiempo (min)	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T 11
8:10	16	18	17	17	16	17	17	16	18	16
8:20	17	17	17	17	17	18	19	16	18	16
8:30	18	18	18	18	18	17	18	20	17	18
8:40	19	19	20	18	18	19	21	17	20	19
8:50	20	19	21	19	18	20	22	18	21	20
9:00	21	21	21	19	20	22	23	18	22	21
9:10	22	21	23	20	20	23	24	19	23	22
9:20	23	21	24	20	22	25	25	20	24	23
9:30	25	24	26	23	25	29	26	23	28	26
9:40	27	26	28	24	26	29	27	24	28	29
9:50	27	26	29	24	27	30	28	24	29	30
10:00	28	27	30	25	27	32	29	25	29	31
10:10	28	27	31	25	26	30	28	24	28	41
10:20	29	28	33	26	27	31	30	24	29	44
10:30	30	29	33	27	27	31	29	25	30	47

Tiempo (min)	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T 11
10:40	32	29	34	27	28	31	29	24	29	51
10:50	33	31	40	29	30	34	31	24	29	55
11:00	33	31	36	30	29	33	31	25	29	56
11:10	34	32	37	29	29	33	30	25	29	59
11:20	35	33	37	30	30	32	30	24	28	62
11:30	38	35	41	31	30	33	36	28	30	67
11:40	38	35	42	32	33	38	33	27	31	71
11:50	39	37	43	33	31	37	33	27	32	72
12:00	39	36	43	34	34	37	34	29	32	75
12:10	40	37	45	35	35	41	36	30	34	76
12:20	43	39	44	34	37	43	37	30	34	79
12:30	42	40	45	36	41	47	38	33	36	83
12:40	44	43	48	37	45	46	45	41	36	87
12:50	47	41	54	38	39	45	39	32	36	88
13:00	45	40	51	40	37	42	36	31	36	91
Temperatura promedio	31	29	34	27	28	31	29	25	28	49
Temperatura máxima	47	43	54	40	45	47	45	41	36	91

8. Dejar enfriar el horno hasta una temperatura segura

Apagado de horno: lunes 13/02/2023 a las 13:00 a una temperatura de 463°C en el visor

Apertura de puerta principal: lunes 13/02/2023 a las 14:00 a una temperatura de 270°C

Descenso de temperatura = 193°C

Tiempo de enfriado = 60 minutos

9. Retiro de restos incinerador

La carga sale parcialmente incinerada con algunos huesos sin cristalizar.



Figura 53. Retiro de restos prueba 7 [Fuente: Propia].

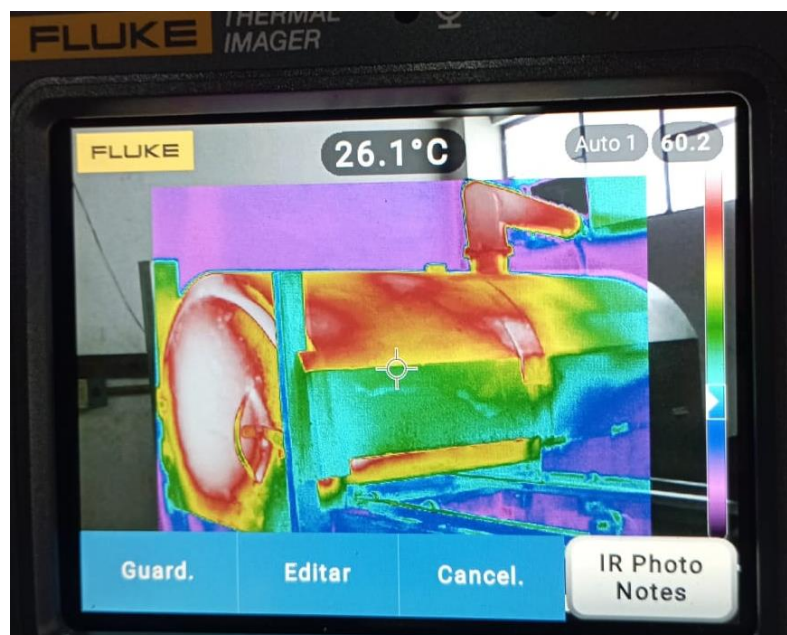


Figura 54. Fotografía termográfica de incinerador prueba 7 [Fuente: Propia].

Prueba de incineración N° 8

Objetivos

Medir el tiempo de incineración de la carga

Medir la temperatura de incineración

Medir el amperaje consumido de cada fase

Materiales

Horno incinerador prototipo

Potencia de trabajo 15 kW

Apertura de agujeros de puerta corrediza 0.001140 m² (Entrada de aire de orificios)

Tiempo de uso 6 horas 10 minutos

Cronómetro

Visor de temperatura

Termocupla

Carga de 8,1 Kg

Multímetro

Actividades antes de la prueba

Introducir carga el interior del horno incinerador

Verificar el estado de los materiales y fugas de calor

Utilizar el equipo de protección necesario

Procedimiento

1. Medir la temperatura interna del horno antes de abrir la compuerta principal

Temperatura = 168°C

Temperatura Ambiente = 18°C

2. Medir el tiempo al inicio de la incineración de la carga

Tiempo = 07:50

3. Colocar la carga al interior del horno

4. Colocar la temperatura de visor en la escogida para la prueba

Visor = 600°C



Figura 55. Carga, cuatro patas de res, 8.1 kg [Fuente: Propia].

5. Medir el tiempo total de incineración de la carga

Tabla 22. Tiempo y temperatura de incineración de carga [Fuente: Propia].

Tiempo (min)	Temperatura (°C) Visor
7:50	168
8:00	223
8:10	243
8:20	255
8:30	263
8:40	275
8:50	306
9:00	309
9:10	319
9:20	330
9:30	438
9:40	429
9:50	455
10:00	473
10:10	441
10:20	454
10:30	456
10:40	454
10:50	462
11:00	471
11:10	473
11:20	469
11:30	460
11:40	461
11:50	463
12:00	467
12:10	472
12:20	476
12:30	480
12:40	479
12:50	481
13:00	483
13:10	483
13:20	485
13:30	486
13:40	487
13:50	487
14:00	492

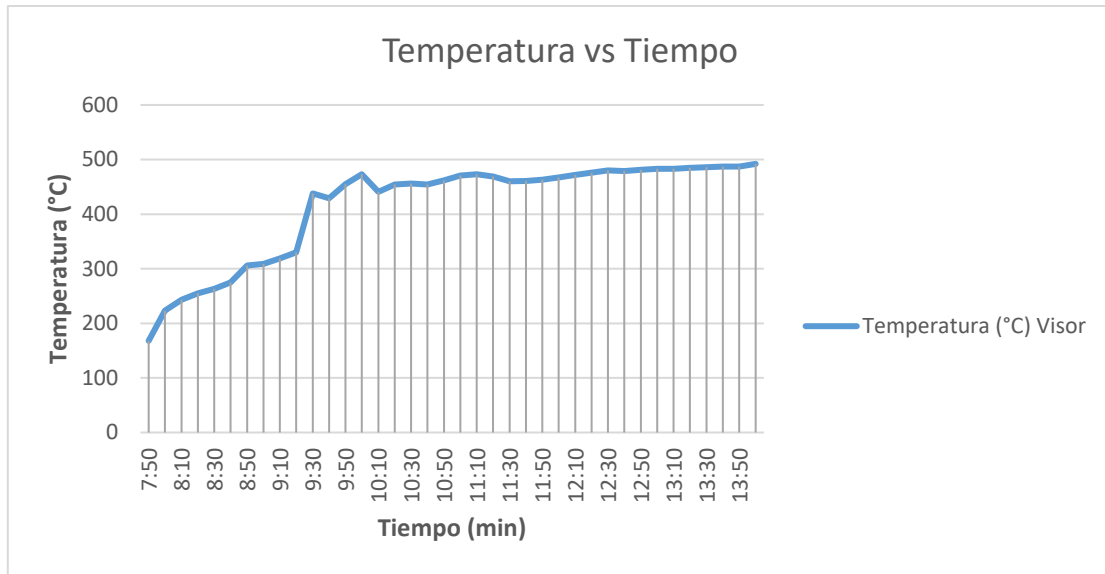


Figura 56. Temperatura vs tiempo prueba 8 [Fuente: Propia].

6. Medir amperaje de fases

Tabla 23. Medición de amperios en cada fase [Fuente: Propia].

Temperatura (°C) Visor	Intensidad (A)		
	F3	F2	F1
263	60	42	38
275	63	42	38
306	62	43	36
309	62	41	37
319	64	45	37
330	63	44	39
438	64	44	38
429	64	43	38
455	63	44	37
473	60	43	36
441	63	45	38
454	63	44	38
456	62	43	38
454	62	43	38
462	62	42	38
471	63	45	38
473	63	43	37
469	62	45	38
460	63	45	38
461	63	45	38
463	64	44	38
467	64	45	38
472	64	45	38

	Temperatura (°C) Visor	Intensidad (A)		
		F3	F2	F1
	476	64	45	38
	480	63	45	38
	479	63	42	38
	481	63	43	40
	483	63	45	38
	483	63	45	38
	485	64	45	39
	486	64	45	38
	487	63	45	38
	487	65	46	39
	492	65	46	39
Promedio	439	63	44	38
Mínimo	263	60	41	36
Máxima	492	65	46	40

7. Medir temperatura externa del incinerador

Tabla 24. Temperatura de puntos de medición externa del horno [Fuente: Propia].

Tiempo (min)	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
8:20	19	19	19	19	18	20	20	18	20	19
8:30	20	20	20	19	19	20	20	18	21	20
8:40	19	19	20	19	19	21	22	19	22	22
8:50	19	19	20	19	21	23	23	20	23	24
9:00	20	20	22	20	21	23	24	19	24	25
9:10	22	21	23	21	22	24	25	21	26	28
9:20	23	22	24	21	24	25	25	21	27	29
9:30	24	24	26	23	24	27	26	23	29	32
9:40	26	25	27	24	27	29	29	24	29	36
9:50	27	26	28	25	27	30	29	24	29	39
10:00	28	26	30	25	28	30	32	25	31	41
10:10	28	27	33	26	28	32	31	26	31	45
10:20	31	29	33	27	30	33	32	27	31	48
10:30	33	31	33	28	30	34	33	29	32	54
10:40	34	31	40	29	32	37	35	28	32	58
10:50	35	32	38	31	34	36	35	32	33	62
11:00	36	33	40	32	34	40	36	30	33	82
11:10	39	33	41	33	35	41	39	33	33	91
11:20	38	35	43	34	37	42	41	32	34	98
11:30	41	38	43	35	39	43	41	33	34	99
11:40	41	38	46	36	37	43	38	31	34	104
11:50	44	41	48	37	39	44	41	35	34	105
12:00	43	41	48	38	37	43	38	31	33	106

Tiempo (min)	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
12:10	43	40	48	38	38	42	40	31	33	106
12:20	46	40	49	39	39	42	39	31	34	106
12:30	44	41	51	39	36	41	38	30	35	106
12:40	46	40	50	41	37	41	38	31	34	107
12:50	46	43	51	42	36	41	37	30	35	108
13:00	47	39	54	44	37	43	37	31	37	112
13:10	48	42	60	44	39	43	38	32	42	112
13:20	50	45	57	43	41	45	38	33	40	115
13:30	50	44	58	44	40	43	38	32	39	118
13:40	50	45	57	45	41	45	38	33	41	121
13:50	51	47	56	46	43	47	41	34	45	122
14:00	48	45	58	47	42	44	40	30	45	124
Temperatura promedio	36	33	40	32	32	36	34	28	32	75
Temperatura máxima	51	47	60	47	43	47	41	35	45	124

8. Dejar enfriar el horno hasta una temperatura segura

Apagado de hormo: lunes 27/02/2023 a las 14:00 a una temperatura de 492°C en el visor

Apertura de puerta principal: lunes 27/02/2023 a las 15:00 a una temperatura de 284°C

Descenso de temperatura = 244°C

Tiempo de enfriado = 60 minutos

9. Retiro de restos incinerador

La carga sale totalmente incinerada y con huesos cristalizados.



Figura 57. Retiro de restos prueba 8 [Fuente: Propia].

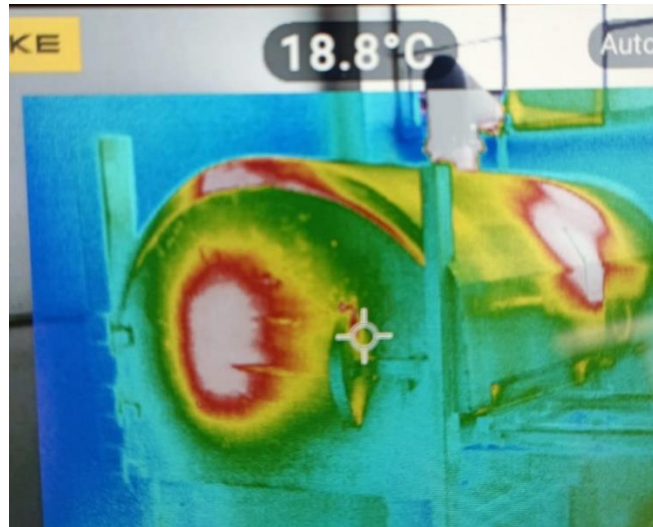


Figura 58. Fotografía termográfica de incinerador prueba 8. Fuente: [Propia]

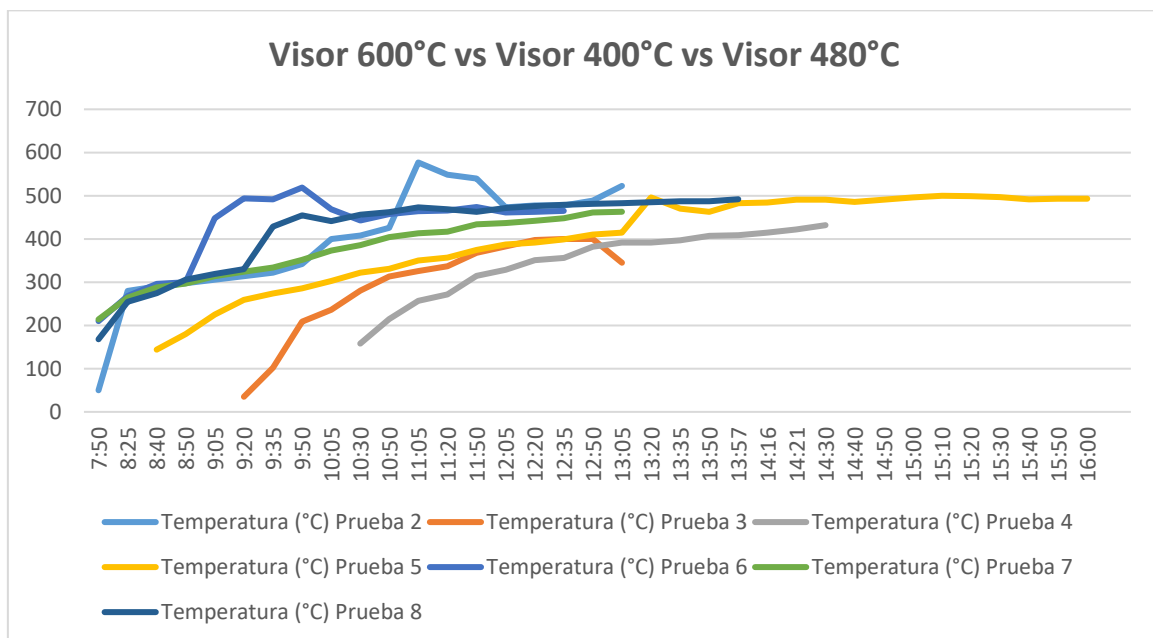


Figura 59. Resumen de pruebas de temperatura vs tiempo [Fuente: Propia].

En la figura 59 se observa el comportamiento del aumento de temperatura respecto al tiempo transcurrido, de las pruebas realizadas con diferentes cargas y asignar una temperatura en el visor. Todas las pruebas se realizaron con una potencia de 15 kW en la cámara principal, se tiene un tiempo de funcionamiento de entre un mínimo de 2.40 horas y una máxima de 7.25 horas, la temperatura media registrada en el visor es de una mínima de 400°C y una máxima de 577°C, el amperaje registrado es de un mínimo de 51 Amperios y un máximo de 68 Amperios, se observa que a mayor temperatura disminuye el tiempo de incineración total de la carga. La carga incinerada presenta una incineración total de la carne y presenta huesos quebradizos al tacto con los dedos.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

- La primera prueba de curado en el horno incinerador se realiza sin carga, con una potencia eléctrica de 11000 Watts, en la cámara principal del horno, se selecciona en el visor una temperatura de 300°C. La prueba se inicia a las 10:27 con una temperatura de 197°C y termina a las 14:07 con una temperatura de 258°C. En total hay un aumento de temperatura de 61°C en un tiempo de 3 horas y 40 minutos.
- La segunda prueba de curado en el horno incinerador se realiza sin carga, con una potencia eléctrica de 15000 Watts, en la cámara principal, se selecciona una temperatura de 400°C en el visor. La prueba se inicia a las 11:30 con una temperatura de 331°C y termina a las 13:30 con una temperatura de 404°C. El total hay un aumento de temperatura de 73°C en un tiempo de 2 horas.
- Se selecciona diferentes puntos de medición de temperatura exterior, cuatro puntos en la compuerta principal frontal (T2, T3, T4, T5), cuatro puntos laterales (T6, T7, T8, T9), un punto en la salida de la chimenea (T10) y un punto en la superficie inferior de la compuerta corrediza (T11). Las temperaturas más altas registradas son: compuerta principal 71°C, superficie inferior de la compuerta corrediza 151°C, superficie externa lateral del horno 47°C y salida de la chimenea 45°C.
- La prueba de incineración con carga N°1 del horno se realiza con una potencia eléctrica de 11000 Watts, se selecciona en el visor de temperatura, 600°C, se instala una carga de 8.6 kg, la prueba se inicia a las 07:50 con una temperatura interna del horno de 79°C. Se finaliza a las 14:30 con una temperatura de 344°C. El tiempo de trabajo es de 6 horas 40 minutos con un aumento de temperatura de 265°C. Los amperajes promedios de cada fase son de F1=40 Amperios, F2=29 Amperios, F3=51 Amperios. Tenemos las temperaturas externas máximas medidas: compuerta 71°C, paredes laterales 36°C, chimenea 32°C y compuerta corrediza superficie inferior 87°C. En los restos incinerados se observa restos de huesos por lo que es una incineración parcial.
- La prueba de incineración N°2 del horno, se realiza con una potencia eléctrica de 15000 Watts, se selecciona en el visor de temperatura, 600°C. La carga de 7 kg, la prueba se inicia a las 10:20 con una temperatura interna del horno de 400°C. Se finaliza a las 13:00 con una temperatura de 523°C. El tiempo de trabajo es de 2 horas 40 minutos con un aumento de temperatura de 123°C. Los amperajes promedios de cada fase son de F1=38 Amperios, F2=44 Amperios, F3=64

Amperios. En los restos incinerados se obtiene huesos que al tacto se desmoronan, se considera una incineración total.

- La prueba de incineración N°3 del horno se realiza con una potencia eléctrica de 15000 Watts, se selecciona en el visor de temperatura, 400°C. En esta prueba se abre la compuerta corrediza para la entrada de aire en 0.026 m² y se pesa la carga, 6 kg. La prueba se inicia a las 07:53 con una temperatura interna del horno de 29°C. Se finaliza a las 13:10 con una temperatura de 345°C. El tiempo de trabajo es de 3 horas 32 minutos con un aumento de temperatura de 316°C. Los amperajes promedios de cada fase son de F1=39 Amperios, F2=44 Amperios, F3=62 Amperios. El tiempo de enfriado del horno fue de 1 hora 20 minutos y la temperatura interna hasta 210°C. Temperaturas externas máximas medidas: compuerta 44°C, paredes laterales 46°C, chimenea 35°C y compuerta corrediza superficie inferior 76°C. En los restos incinerados se observa restos de huesos por lo que es una incineración parcial.
- La prueba de incineración N°4 del horno se realiza con una potencia eléctrica de 15000 Watts, se selecciona en el visor de temperatura, 480°C. En esta prueba se hacen nueve orificios en la compuerta corrediza para la entrada de aire correspondiente a 0.001140 m² y se pesa la carga, 4,5 Kg. La prueba se inicia a las 10:24 con una temperatura interna del horno de 63°C. Se finaliza a las 14:40 con una temperatura de 432°C. El tiempo de trabajo es de 4 horas 10 minutos con un aumento de temperatura de 274°C. El tiempo de enfriado del horno fue 50 minutos la temperatura interna hasta 272°C. Los amperajes promedios de cada fase son de F1=42 Amperios, F2=48 Amperios, F3=68 Amperios. Temperaturas externas máximas medidas: compuerta 44°C, paredes laterales 45°C, chimenea 32°C y compuerta corrediza superficie inferior 104°C. En los restos incinerados se observa huesos por lo que es una incineración parcial.
- La prueba de incineración N°5 del horno se realiza con una potencia eléctrica de 15000 Watts, se selecciona en el visor de temperatura, 500°C. En esta prueba se hacen nueve orificios en la compuerta corrediza para la entrada de aire correspondiente a 0.001140 m² y se pesa la carga, 5,6 Kg. La prueba se inicia a las 08:35 con una temperatura interna del horno de 144°C y finaliza a las 16:00, con una temperatura de 493°C. El tiempo de trabajo es de 7 horas 25 minutos con un aumento de temperatura de 349°C. El tiempo de enfriado del horno fue 40 minutos la temperatura interna hasta 318°C. Temperaturas externas máximas medidas: compuerta 55°C, paredes laterales 43°C, chimenea 40°C y compuerta corrediza superficie inferior 151°C. Se observa una incineración total.

- La prueba de incineración N°6 del horno se realiza con una potencia eléctrica de 15000 Watts, se selecciona en el visor de temperatura, 550°C. Esta prueba se desarrolla con los orificios en la compuerta corrediza para la entrada de aire y se aplica una carga de 8 kg que corresponde a una cabeza de cerdo y una pata de res. La prueba se inicia a las 07:20 con una temperatura interna del horno de 106°C. Se finaliza a las 12:40 con una temperatura de 466°C. El tiempo de trabajo es de 5 horas 20 minutos con un aumento de temperatura de 360°C. El tiempo de enfriado del horno fue 40 minutos, la temperatura interna hasta 268°C. Las temperaturas externas máximas medidas son: compuerta 52°C, paredes laterales 43°C, chimenea 38°C y compuerta corrediza superficie inferior de 124°C. Al final del proceso se observa restos totalmente incinerados.
- La prueba de incineración N°7 del horno se realiza con una potencia eléctrica de 15000 Watts, se selecciona en el visor de temperatura, 600°C. Esta prueba se desarrolla con los nueve orificios en la compuerta corrediza para la entrada de aire y se aplica una carga de 7.7 kg que corresponde a cuatro patas cortadas de res. La prueba se inicia a las 07:27 con una temperatura interna del horno de 52°C. Se finaliza a las 13:00 con una temperatura de 463°C. El tiempo de trabajo es de 5 horas 33 minutos con un aumento de temperatura de 411°C. El tiempo de enfriado del horno fue 60 minutos, la temperatura interna hasta 270°C. Los amperajes promedios de cada fase son de F1=39 Amperios, F2=44 Amperios, F3=64 Amperios. Las temperaturas externas máximas medidas son: compuerta 54°C, paredes laterales 47°C, chimenea 36°C y compuerta corrediza superficie inferior de 91°C. En los restos analizados se observa una incineración parcial.
- La prueba de incineración N°8 del horno se realiza con una potencia eléctrica de 15000 Watts, se selecciona una temperatura de 600°C en el visor. Esta prueba se realiza con los nueve orificios en la compuerta corrediza mencionados en la prueba anterior y se introduce una carga de 8.1 kg, que corresponde a cuatro patas sin cortar de res. La prueba se inicia a las 07:50 con una temperatura interna del horno de 168°C. Se finaliza a las 14:00 con una temperatura de 492°C. El tiempo de trabajo es de 6 horas 10 minutos con un aumento de temperatura de 324°C. El tiempo de enfriado del horno fue 60 minutos, la temperatura interna hasta 284°C. Los amperajes promedios de cada fase son de F1=38 Amperios, F2=44 Amperios, F3=63 Amperios. Las temperaturas externas máximas medidas son: compuerta 60°C, paredes laterales 47°C, chimenea 45°C y compuerta corrediza superficie inferior 124°C. Se observa los restos totalmente incinerados.

3.2 DISCUSIÓN

El uso de resistencias eléctricas de 11 kW de potencia en el horno incinerador prototipo, toma 285 segundos incinerar una carga de 0.7 kg, llegando a una temperatura en la termocupla de 590°C, generando una incineración total. [4]

En la primera prueba realizada en este estudio se utilizó una potencia de 11 kW, le tomo 6.4 horas incinerar una carga de 8.6 kg, llegando a una temperatura de 344°C en la termocupla. Al realizar la comparación con lo mencionado en el párrafo anterior, se aclara que el volumen a calentar del incinerador utilizado para la carga de 0.7 kg es de apenas 0.021 m³, mientras que el volumen del horno de este estudio es de 0.410 m³, lo que significa que existe mayor volumen de calentamiento y en consecuencia mayor tiempo de uso del incinerador, otro aspecto es que en el primer estudio la carga se encuentra prácticamente junto a las resistencias a diferencia de este estudio en la que la carga se encuentra alejada de las resistencias como se puede observar en la fotografías de los protocolos de prueba.

Se realizaron ocho protocolos de prueba en los que la mayor temperatura que se registro es de 523°C, en la termocupla, si comparamos con el trabajo propuesto por [4] en el cual la temperatura a la que llega es de 590°C, se puede concluir que se necesita aumentar la potencia para poder reducir el tiempo de incineración.

A través de los cálculos y simulaciones desarrollado en la etapa de diseño, se establecen temperaturas superficiales externas, de acuerdo al siguiente detalle: paredes laterales 119.84°C, pared superior 111.92°C, pared inferior 357.70°C y compuerta principal 120.20°C.

Al tomar las medidas de temperatura en el incinerador durante las pruebas desarrolladas, con ayuda de una cámara termográfica y un pirómetro, en los 11 puntos del incinerador seleccionados previamente se obtienen las siguientes temperaturas máximas: paredes laterales 47°C, compuerta principal de 71°C, chimenea de 45°C y compuerta inferior corrediza 151°C. Podemos considerar que estas temperaturas no representan peligro para la operación.

En la primera prueba no se contaba con la entrada de aire para la combustión, se observa salida de gases de la combustión en la parte superior de la compuerta principal lo que produce olores leves. Para la siguiente prueba se abre un poco la compuerta principal para la entrada de aire, esto que permite una mejor salida de los gases por la chimenea y reduce los olores. Debido al mejor resultado en la salida de los gases al

abrir la compuerta corrediza inferior, se realizan agujeros en la compuerta que permitan la entrada permanente de aire para las siguientes pruebas.

Por temas de costo se implementó una potencia de trabajo en la cámara principal de 15kW y una potencia de trabajo en la cámara secundaria de 2 kW, esto resulta en un mayor tiempo de incineración de la carga.

La compuerta corrediza inferior facilita la salida de la carga incinerada haciendo de este proceso más rápido y menos peligroso para el operador. Se realizaron los orificios para la entrada de aire que permite una mejor combustión de la carga. Se recomienda realizar una pequeña compuerta de entrada de aire que pueda abrir o cerrar según la necesidad. No se encontró fugas como en la compuerta principal.

Las lecturas del visor de temperatura corresponden a las censadas por la termocupla en el volumen interno de la cámara principal, no corresponden a la temperatura de las resistencias o la carga incinerada.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Hay que recordar que la termocupla se encuentra situada en la mitad y parte superior de la cámara principal. Por lo que lee la temperatura de aire caliente que se encuentra en el interior de la cámara. No existe lectura de temperaturas de las resistencias, suponemos es 1200°C.
- Se puede observar que los mejores resultados se obtienen al programar valores medios en el visor de temperatura, en el segundo caso la termocupla registro 577°C con un tiempo de incineración total de 2 h 40 minutos, con lo que se prueba que a mayor temperatura el resultado es una incineración total en menor tiempo.
- La sexta prueba con apertura de orificios en la compuerta inferior corrediza para la entrada de aire, se llegó a un registro de 534°C con un tiempo de 5.2 horas, la entrada de aire favorece la combustión de la carga, pero aumenta el tiempo de incineración.
- Las temperaturas máximas externas registradas en la compuerta 71°C, en las paredes laterales 47°C, en la chimenea 45°C y la compuerta corrediza inferior 151°C, con un porcentaje medio de 46% menor al cálculo y simulación de temperatura, se confirma que estas temperaturas no representan un peligro para la operación.

- El sistema eléctrico de potencia y control no presenta dificultades.
- Los amperajes en las tres fases se estabilizaron y su registro esta de acuerdo al diseño.
- Un proceso de incineración total toma aproximadamente un promedio de 4 horas 58 minutos, una temperatura promedio de 485°C y un amperaje promedio de 62 Amperios, el ingreso de aire por los orificios realizados en la compuerta inferior ayuda al proceso de combustión de la carga al inicio del proceso, pero transcurrido cierto tiempo se necesita el cierre total para provocar una incineración total.

4.2 RECOMENDACIONES

- La entrada de aire contribuye a la incineración primaria de la carga por lo que, la primera recomendación es construir una compuerta regulable de entrada de aire.
- Para reducir el tiempo se recomienda aumentar la potencia en la cámara principal del horno incinerador.
- Se recomienda que la chimenea no tenga curvas, segmentos horizontales o inclinados, que sea recta y vertical a la salida de la cámara secundaria, debe tener una altura mínima de 10 metros por encima del nivel del suelo.
- Incrementar el diámetro de alambre de potencia para elevar el consumo y por consecuencia la potencia.
- Incrementar la potencia de las resistencias eléctricas para disminuir el tiempo de incineración de la carga.
- Para eliminar la percepción de olores leves de la combustión se recomienda que el diseño y construcción de la compuerta principal sea más hermética.
- Se recomienda para futuras pruebas se realicen con un precalentamiento del horno para obtener mejores resultados.
- El mantenimiento frecuente de la parte eléctrica principalmente de las uniones de las resistencias con el cableado de potencia y los contactores de este circuito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Astigarraga Urquiza, *Hornos industriales de resistencias*. McGraw Hill. 1995
- [2] Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. *Transferencia de calor y masa: Fundamentos y aplicaciones* (Cuarta edición). McGraw-Hill. 2011
- [3] Morocho, Manuel. *Texto de costos de mantenimiento*. Riobamba. Ecuador. 2000
- [4] Arias Ledesma, F. A., & Bolaños Santamaria, B. F. *Análisis comparativo entre sistemas de incineración patológica mediante radiación generada por arco eléctrico y resistencia eléctrica*, Quito, 2021.
- [5] Chalán Martínez, Pallo Pavón, C. A. *Diseño de una máquina para recoger y moler restos óseos incinerados: Diseñar un sistema de compuerta deslizante para abandonar restos incinerados*, Quito: EPN, 2022.
- [6] Naranjo Contento, A. L., & Velasco Jaramillo, E. J. *Estudio y diseño funcional de un horno crematorio energizado térmicamente con resistencias eléctricas*, Quito: EPN, 2022.
- [7] Pillajo Corella, B. M., & Romero Velasco, F. I. *Diseño y construcción de un horno calentado por resistencias eléctricas que trabaje en un rango de temperaturas entre 1000 a 1350 grados centígrados, y controlado por un sistema computarizado*, Quito, 2016.
- [8] Castro Negron, F. (2018). *Análisis energético para el diseño de un horno incinerador sobre los 1200 grados Celsius*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. 2018
- [9] Velasquez Peña, J. P., & Velarde Forest, A, Tutor. *Diseño de horno de cremación (para el Cementerio General de Viacha)*, Tesis. 2014
- [10] Guerrero Noboa, M. I., & Tene López, I. H. *Diseño y construcción de un equipo de cremación para la incineración de residuos biológicos generados en el bioterio de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*. Riobamba. 2020
- [11] *Metodología para la correcta supervisión de obra.pdf*. (s. f.) tesis.ipn.mx.
- [12] México, D. G. de R. U., Universidad Nacional Autónoma de. (s. f.). *Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Autónoma de México*.

- [13] Gómez Díaz, A. *Diseño e instalación de un horno crematorio en una nave industrial*. 2015
- [14] Duarte Barrero, D. F., & Vargas Álvarez, J. D. (s. f.). *Diseño de horno eléctrico para tratamientos térmicos con atmósfera controlada*.
- [15] Martínez, H. V., Sierra, C. M., Chejne, F., & Flórez, W. F. *Desarrollo de modelos matemáticos para la evolución de la temperatura en hornos eléctricos mediante balances de materia y energía*. 2005
- [16] Arata, I., Arrufat, F., Palacios, P., & Folie, S. *Variación de la resistencia con la temperatura*. 2001
- [17] *Proyecto Técnico Horno Crematorio PDF | PDF | Cremación | Chimenea*. (s. f.).
- [18] <https://COINREF/>(2019, agosto 13). *Materiales refractarios para hornos Industriales Profesional, Ingeniería Coinref*, <https://www.coinref.com/materiales-refractarios>
- [19] *Estudio de impacto ambiental y plan de manejo ambiental crematorio funeraria Meléndez*. (s. f.).
- [20] *Salas de calderas*. (s. f.).
- [21] *Funcionamiento de un horno crematorio*. (s. f.). Funeral Natural, <https://www.funeralnatural.net/articulos/funcionamiento-de-un-horno-crematorio>
- [22] *Funcionamiento de un horno crematorio—Artículo | Funeral Natural*. (s. f.).
- [23] Méndez Altamirano, J. P., & Suasnavas Flores, W. P. (2012). *Diseño y Construcción de un Horno eléctrico para el secado de los bobinados de motores de hasta 10 HP*, Quito, 2012.
- [24] *Cpe_inen_5Parte8Secc V.pdf*. (s. f.). https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5Parte8Secc%20V.pdf
- [25] Guevara López, A. S., & Riofrío Morales, C. A. *Repotenciación del horno eléctrico controlado por touch panel para tratamientos térmicos*, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi. 2019
- [26] *11627_FUTURO_marlene.vazquez.pdf*. (s. f.). https://www.mades.gov.py/wp-content/uploads/2018/11/11627_FUTURO_marlene.vazquez.pdf
- [27] Molera Solá, Pere. *Tratamientos térmicos de los metales*. Marcombo S.A. 1991

[28] Flores, V. & Mena, D. *Desarrollo de la Ingeniería de detalle, diseño de la instalación de las resistencias eléctricas en el horno y la simulación del modelo de calentamiento de las resistencias en vacío, con el fin de determinar y ofrecer una propuesta de instalación y control de temperatura en lazo cerrado de un horno incinerador*, Quito, 2022.

[29] Romeva Riba, Carles. *Diseño concurrente*. 2002

ANEXOS

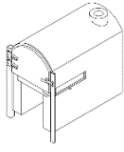
ANEXO 1 Project con el cronograma

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	ago	sep	oct	nov	dic
1	Revisión bibliográfica	7 días	lun 1/8/22	mar 9/8/22					
2	Análisis de trabajos anteriores	13 días	mié 10/8/22	vie 26/8/22					
3	Estudio de localización y aprobación de implementación	1 día	lun 29/8/22	lun 29/8/22					
4	Construcción de replantillo o base	1 día	mar 4/10/22	mar 4/10/22					
5	Construcción de cámara principal	5 días	mié 5/10/22	mar 11/10/22					
6	Construcción de cámara secundaria	5 días	mié 12/10/22	mar 18/10/22					
7	Fabricación de compuerta inferior corrediza	4 días	mié 19/10/22	lun 24/10/22					
8	Colocar aislamiento térmico	4 días	mar 25/10/22	vie 28/10/22					
9	Instalación de chapa metálica	2 días	lun 31/10/22	mar 1/11/22					
10	Instalación de compuerta y chimenea	4 días	mié 2/11/22	lun 7/11/22					
11	Instalación eléctrica y control	5 días	mar 8/11/22	lun 14/11/22					
12	Pruebas de funcionamiento temperatura y carga	5 días	mar 15/11/22	lun 21/11/22					
13	Entrega de equipos puesta en marcha	4 días	mar 22/11/22	vie 25/11/22					
14	Revisión y corrección	4 días	jue 1/12/22	mar 6/12/22					

Proyecto: Proyecto horno incin Fecha: jue 23/3/23	Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
	División		Tarea manual		Hito externo	
	Hito		solo duración		Fecha límite	
	Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
	Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
	Tarea inactiva		solo el comienzo			
Hito inactivo		solo fin				

Página 1

ANEXO 2 Ejemplo de protocolo de pruebas

	PROTOCOLO DE PRUEBAS	Fecha de elaboración: 27/02/2023
		Elaborado por: Ing. Danilo Moposita
		Código Proyecto: PTT - 20 - 01
1. DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA: <p>El objetivo de la prueba es medir el tiempo que le toma al horno incinerador reducir a cenizas la carga ingresada, medir el incremento de temperatura respecto del tiempo transcurrido en al menos 10 puntos previamente definidos, identificar las fugas de calor, determinar la temperatura óptima para el proceso de incineración y comparar las curvas de temperatura resultante a fin de establecer las conclusiones correspondientes.</p>		
2. OBJETIVOS: <p>Medir el tiempo de incineración de la carga. Medir la temperatura de incineración respecto al tiempo transcurrido. Medir el amperaje consumido a fin de comprobar el diseño eléctrico y electrónico.</p>		
3. MATERIALES y EQUIPOS: <ul style="list-style-type: none">• Horno incinerador prototipo• Resistencias eléctricas en cámara principal con una Potencia de trabajo 15 kW• Resistencias eléctricas en cámara secundaria con una Potencia de trabajo 2 kW• Cronómetro• Termocupla instalada en cámara principal• Pirómetro para medir temperaturas exteriores• Cámara termográfica para medir temperaturas y zonas de calor• Carga, cuatro patas de res, 8.1 kg• Multímetro• Apertura de compuerta corrediza 0.026 m² (Entrada de aire)		

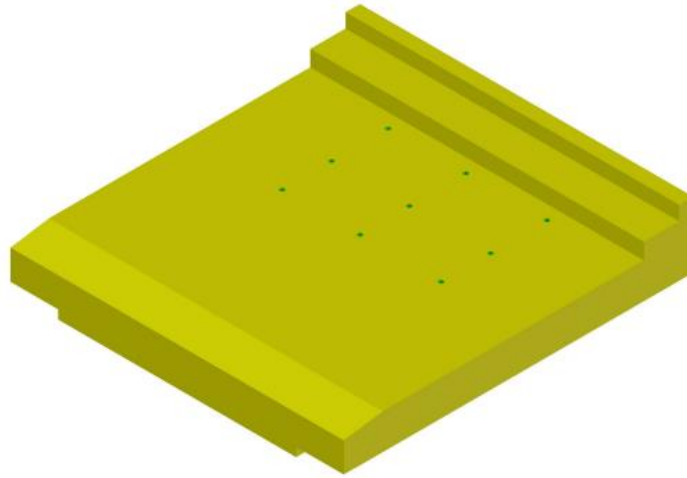


Figura 01. Apertura de compuerta para entrada de aire por orificios

4. ACTIVIDADES ANTES DE LA PRUEBA:

- Introducir la carga al interior del horno incinerador
- Introducir en el sistema de control la temperatura máxima en la termocupla, ej.: 600 °C.
- Introducir en el sistema de control la variación de temperatura, por ejemplo ± 20 °C, es decir el sistema llegará a 620 °C y luego bajará hasta 580 °C.
- Verificar el estado de los materiales y fugas de calor
- Utilizar el equipo de protección necesario

5. PROCEDIMIENTO:

- 5.1. Medir la temperatura ambiente
Temperatura = 18 °C
- 5.2. Medir la temperatura interna del horno en la cámara principal
Temperatura = 168°C (Precalentamiento)
- 5.3. Fecha y hora al inicio del proceso
27/02/2023
- 5.4. Colocar la carga al interior del horno
- 5.5. Medir temperaturas en al menos 10 puntos definidos, como máximo cada 20 minutos

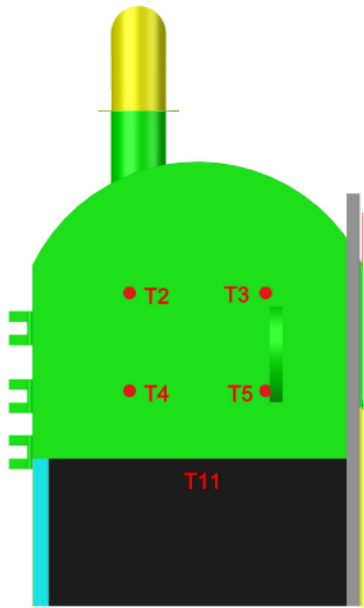


Figura 02. Puntos de medición frontales y bajo la compuerta móvil

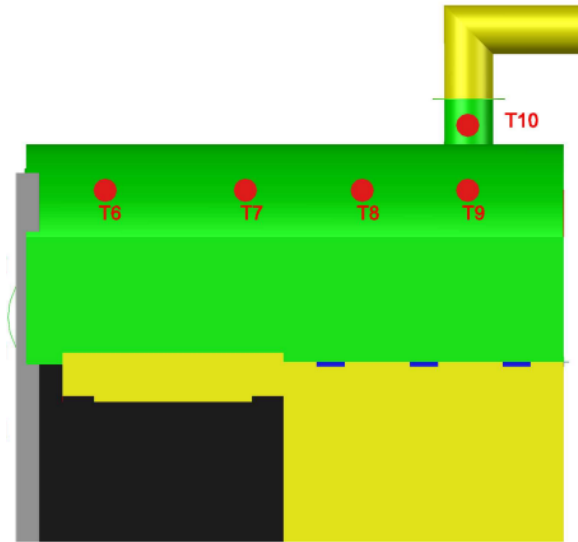


Figura 03. Puntos de medición laterales y chimenea



Figura 04. Carga colocada con 15 kW

6. RESULTADOS:

6.1. Tabla 01. Tiempo y temperatura registradas.

Tiempo (min)	Temperatura (°C) Visor
7:50	168
8:00	223
8:10	243
8:20	255
8:30	263
8:40	275
8:50	306
9:00	309
9:10	319
9:20	330
9:30	438
9:40	429
9:50	455
10:00	473

Tiempo (min)	Temperatura (°C) Visor
10:10	441
10:20	454
10:30	456
10:40	454
10:50	462
11:00	471
11:10	473
11:20	469
11:30	460
11:40	461
11:50	463
12:00	467
12:10	472
12:20	476
12:30	480
12:40	479
12:50	481
13:00	483
13:10	483
13:20	485
13:30	486
13:40	487
13:50	487
14:00	492

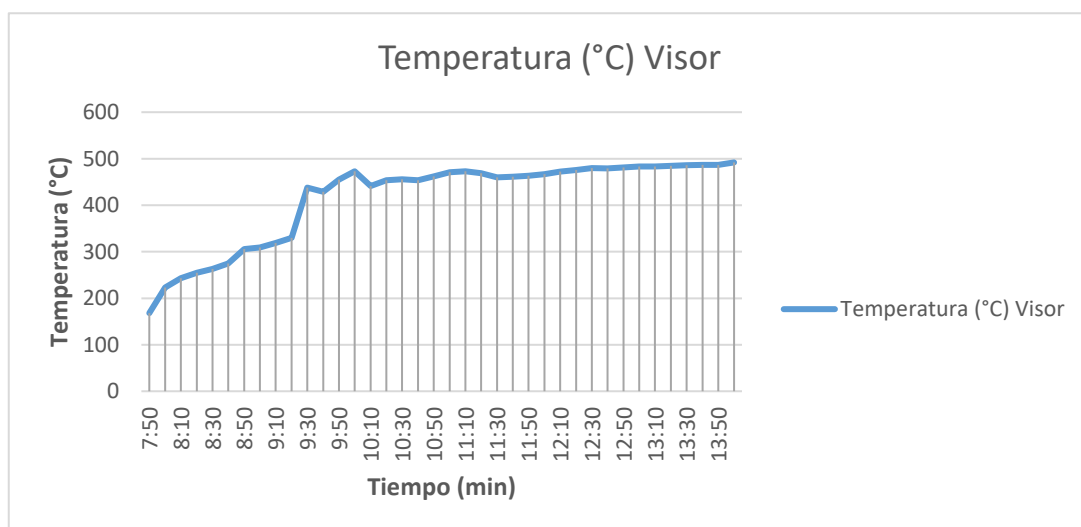


Figura 05. Temperatura vs tiempo con 15 kW

6.2. Amperajes de la corriente eléctrica que circula en las fases que alimentan al sistema de control.

Tabla 02. Medición de amperios en cada fase con 15 kW.

Tiempo (min)	Intensidad (A)		
	F3	F2	F1
8:30	60,4	42,1	37,9
8:40	62,8	42,2	37,9
8:50	62,2	42,8	35,6
9:00	62,1	40,6	36,6
9:10	63,5	44,6	37,4
9:20	62,8	43,7	39,2
9:30	63,6	43,8	37,9
9:40	64,0	42,6	37,7
9:50	62,6	44,3	36,6
10:00	60,3	42,6	36
10:10	63,4	44,6	37,7
10:20	62,6	44,2	38,1
10:30	62,1	43,3	37,7
10:40	62,3	42,7	38
10:50	61,6	42,2	37,8
11:00	62,9	45,1	37,8
11:10	62,6	42,7	37,3
11:20	62,3	44,7	38
11:30	62,5	44,6	37,9
11:40	63,4	44,6	37,9
11:50	63,5	44,4	37,9
12:00	63,6	44,8	38,1
12:10	63,7	44,9	38,3
12:20	63,6	44,7	37,6
12:30	63,3	45,1	37,9
12:40	63,0	42,2	38,3
12:50	63,0	43,2	39,5
13:00	63,4	44,8	38,4
13:10	63,3	45,0	38,3
13:20	63,5	45,2	38,6
13:30	63,7	44,7	38,1
13:40	63,2	45,2	38,2
13:50	64,8	45,5	38,5
14:00	64,5	45,5	38,8
Promedio	62,9	43,9	37,9
Mínimo	60,3	40,6	35,6
Máximo	64,8	45,5	39,5

6.3. Temperatura externa del horno incinerador

Tabla 03. Temperatura de puntos de medición externa del horno incinerador

Tiempo (min)	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T 11
8:20	18,8	18,8	19,2	19	18,4	19,6	19,7	18,1	20,1	18,6
8:30	19,7	19,6	19,7	18,8	18,7	19,6	20,3	18,2	20,6	19,6
8:40	19,1	19,3	20,1	19	19,4	21,3	21,8	18,8	21,8	22,3
8:50	19,3	19,3	20,1	19	20,5	22,9	23,2	19,8	23,2	23,7
9:00	20,2	20,1	21,9	20,1	20,5	22,5	23,7	18,8	24,3	25,1
9:10	22,1	21	23	21,1	21,8	24,1	24,5	21	26	27,5
9:20	22,5	22,3	23,8	21,4	23,6	24,9	24,6	21,3	26,7	28,9
9:30	24,2	23,8	25,5	22,8	24,1	26,8	26,2	22,8	29,4	32,3
9:40	25,8	25	27	23,8	27,1	29	29,3	24,2	28,9	36,1
9:50	26,6	25,9	27,8	24,6	26,6	29,8	29,3	24,4	29,3	38,5
10:00	27,9	26,1	29,7	24,7	27,9	29,8	32,1	25,4	30,6	41,2
10:10	28,2	27	32,5	26,4	27,8	31,5	31,3	26	31,4	44,9
10:20	30,5	29,3	32,8	27,4	29,9	33,3	32,4	27,2	31,3	47,8
10:30	32,8	31,1	33,2	28,1	30,2	33,8	32,5	29,1	32	54
10:40	33,9	31,3	39,6	29,2	32	36,9	35,1	28,3	32,1	58
10:50	35,3	32,2	37,6	30,6	34,2	36,4	35,4	32,2	32,9	61,7
11:00	36,2	32,7	39,9	31,6	33,6	40,3	35,5	29,9	33	82,2
11:10	38,8	33,3	41,3	33,1	35,4	41,1	38,6	32,8	33,1	90,9
11:20	38,1	34,9	42,6	34	37	42,3	41,2	31,7	33,6	98,2
11:30	40,6	38,2	42,8	34,5	38,6	43,2	41,3	32,6	33,9	99,1
11:40	40,6	37,7	46,4	35,6	37,2	42,7	37,7	31,2	33,5	104,4
11:50	44,4	41	47,6	36,9	39,3	44	40,5	34,9	33,9	105,4
12:00	43,4	41	47,9	37,7	37,4	43	38,2	30,8	33,3	105,6
12:10	42,6	40	48	38,4	38,3	42,1	39,6	30,6	33,3	105,9
12:20	45,6	39,8	48,7	38,5	39,3	42,4	38,9	31,4	33,7	106,1
12:30	44,2	41,2	51	38,7	35,7	41,2	37,9	30,4	35,1	106,4
12:40	45,6	40	50,3	41,2	36,9	41,4	37,7	30,9	34,1	106,7
12:50	46	42,8	51,1	42	36,3	40,5	37,4	30,4	34,9	107,5
13:00	47	39,3	54	44,1	37,1	42,5	37,4	31	36,9	111,6
13:10	48,3	42,3	59,5	43,6	38,9	42,9	37,5	32,1	41,6	112,4
13:20	50	44,6	56,5	43,3	40,5	45	38,1	33,3	39,7	115,1
13:30	50,4	43,5	57,7	44	40	42,9	37,6	31,5	39	118
13:40	49,7	44,9	57	44,9	40,7	45,1	37,5	32,8	40,5	120,6
13:50	51,1	47,1	56,3	45,6	43,2	47,2	40,6	33,8	44,9	122
14:00	48,2	45,4	57,6	47,1	41,6	44,3	39,6	29,9	44,8	124,2
Temperatura máxima	406	47,1	59,5	47,1	43,2	47,2	41,3	34,9	44,9	124,2

6.4. Dejar enfriar el horno hasta una temperatura segura (300 °C)

Apagar el horno: lunes 27/02/2023, 14H00, a una temperatura de 492°C en el visor del tablero de control.

Apertura de puerta principal: lunes 27/02/2023 a las 15:00 a una temperatura de 284°C en el visor.

Descenso de temperatura = 244°C

Tiempo de enfriado = 60 minutos

6.5. Análisis de restos incinerados

La carga sale totalmente incinerada y con huesos cristalizados



Figura 06. Retiro de restos con 15 kW

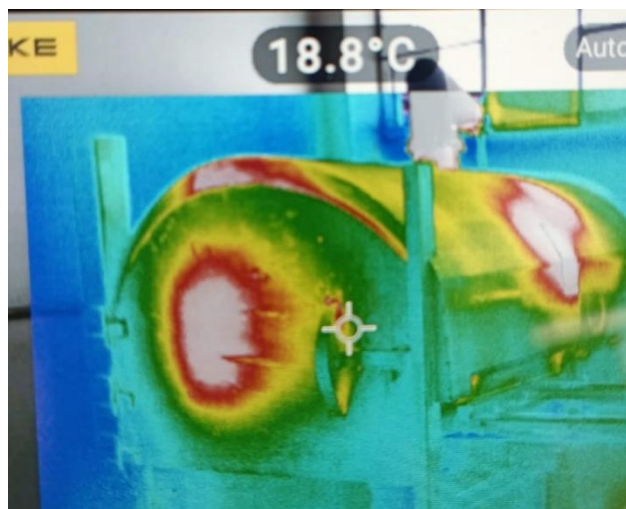


Figura 07. Retiro de restos con 15 kW

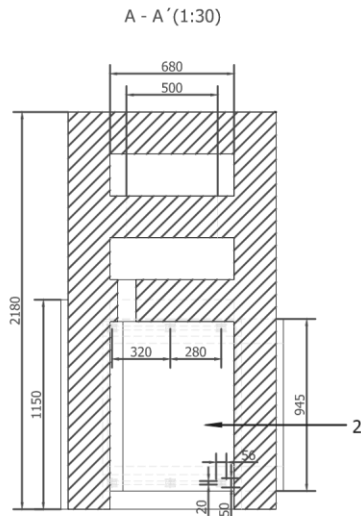
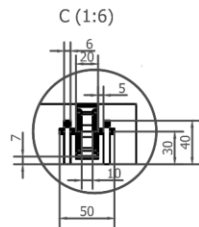
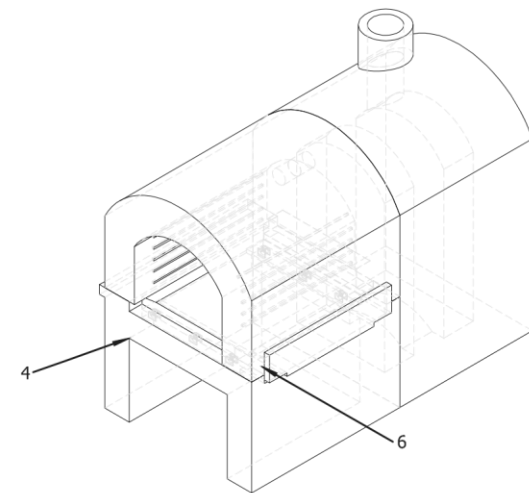
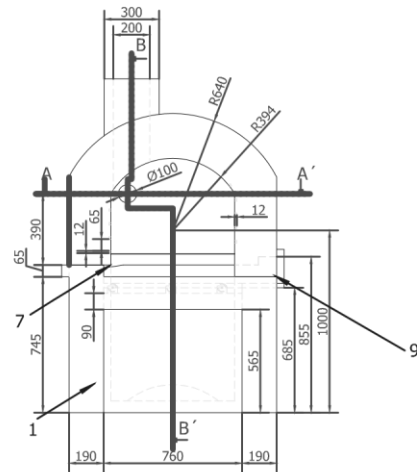
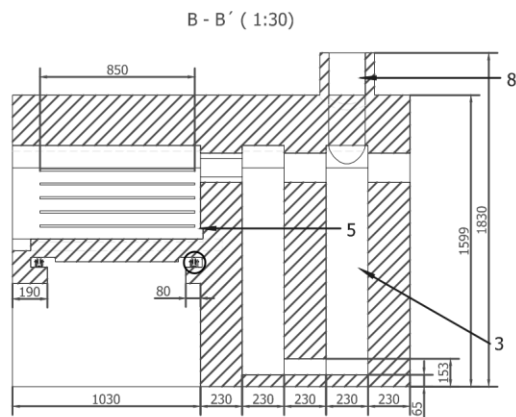
7. CONCLUSIONES:

- 7.1. El sistema eléctrico y de control no presenta dificultades
- 7.2. Los amperajes medidos en las tres fases instalados están de acuerdo a lo definido en el diseño.
- 7.3. Se percibe olores leves.
- 7.4. Se observa fugas de calor por la parte superior de la compuerta principal
- 7.5. Las temperaturas en las paredes del incinerador coinciden aproximadamente con las obtenidas en los cálculos y simulaciones.
- 7.6. Se observa que la potencia de las resistencias instalada puede completar el proceso de incineración en al menos 12 horas, valor establecido en las simulaciones.
- 7.7. La temperatura de las termocuplas es diferente a la temperatura de las resistencias eléctricas.
- 7.8. Es necesario mejorar el rendimiento del incinerador para que las pruebas puedan ser ejecutadas sin dificultades de tiempo y horario.

8. RECOMENDACIONES:

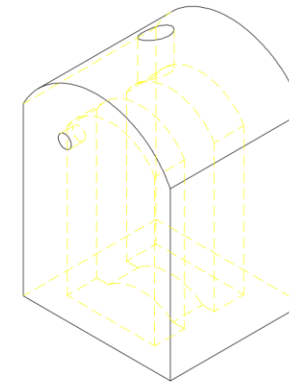
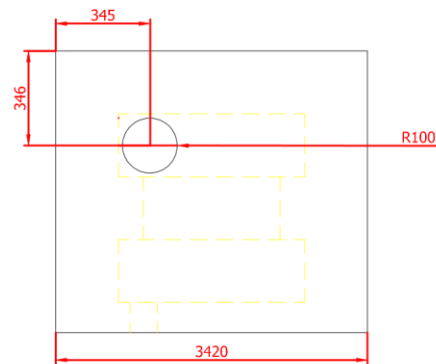
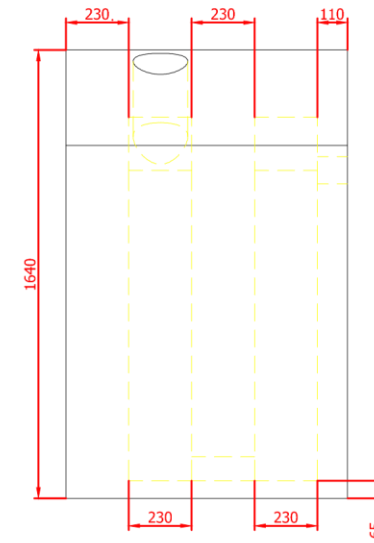
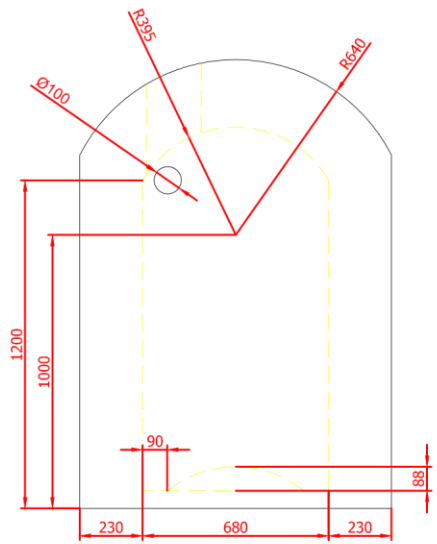
- 8.1. Incrementar la altura de la chimenea por el exterior de las instalaciones
- 8.2. Incrementar la potencia de las resistencias eléctricas en 6000 watios a fin de disminuir el tiempo de incineración.
- 8.3. Incrementar el diámetro de los alambres conductores en consideración que pasará mayor corriente.
- 8.4. Realizar 9 pequeños agujeros de 10 mm de diámetro a fin de facilitar la combustión
- 8.5. El tipo de la carga es adecuado, porque tiene carne, grasa y hueso

ANEXO 3 Planos

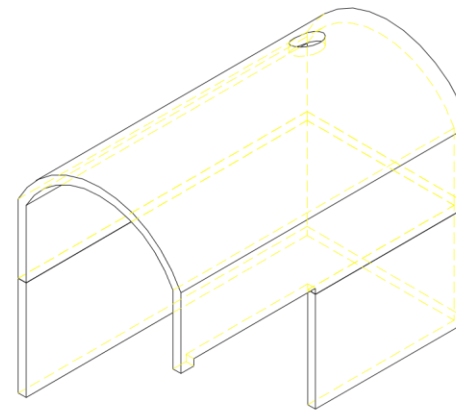
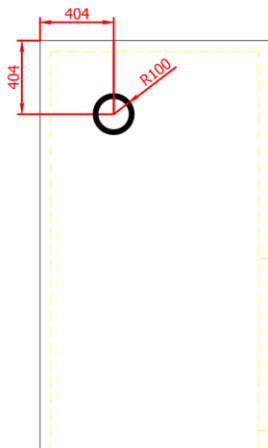
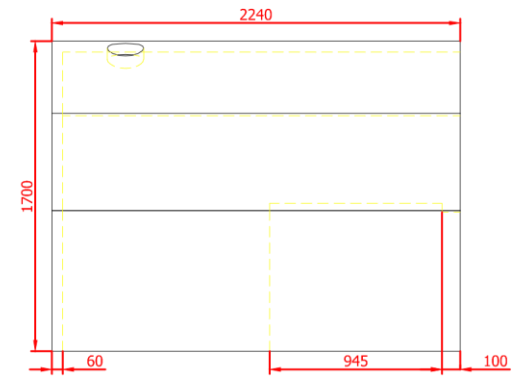
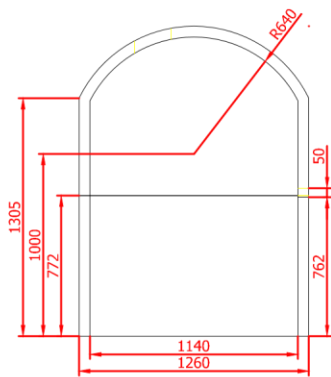


Nº Pieza	Cantidad	Descripción	Material	Observaciones
1	1	Base	Ladrillo refractario	
2	1	Cámara principal	Ladrillo refractario	
3	1	Cámara secundaria	Ladrillo refractario	
4	1	Soporte frontal	Concreto refractario	
5	1	Soporte posterior	Concreto refractario	
6	1	Soporte izquierdo	Concreto refractario	
7	1	Soporte derecho	Concreto refractario	
8	1	Soporte chimenea	Concreto refractario	
9	1	Compuerta inferior	Concreto refractario	

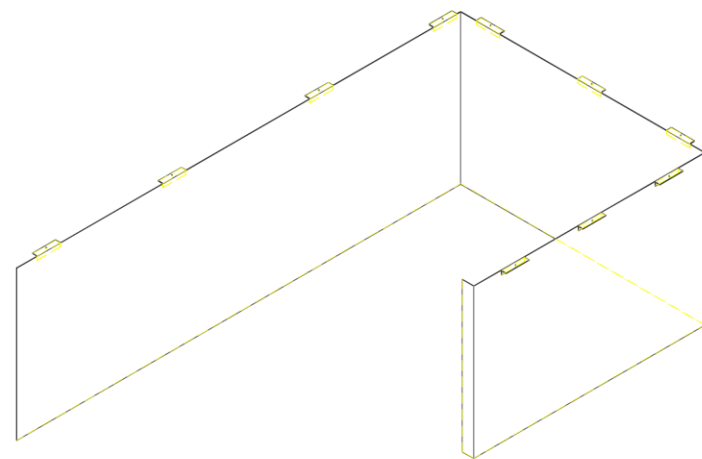
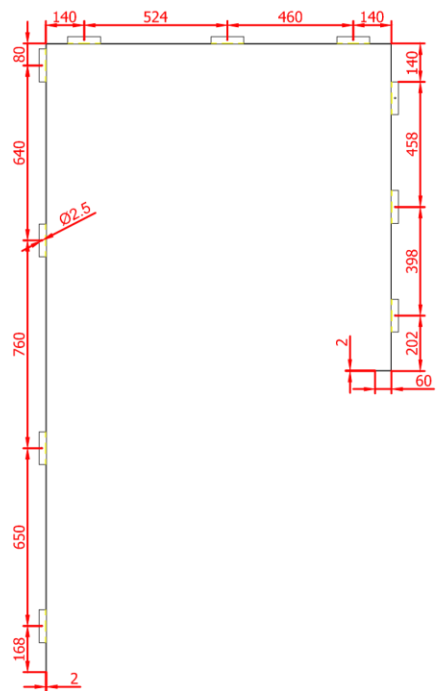
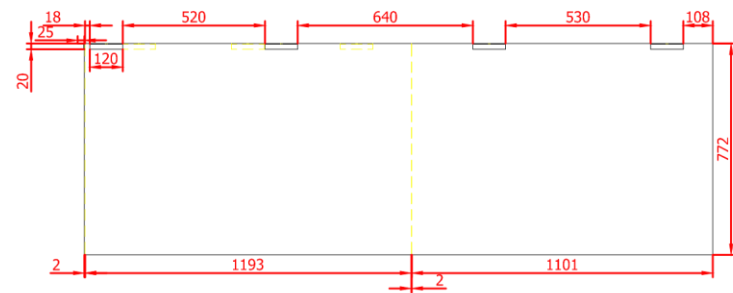
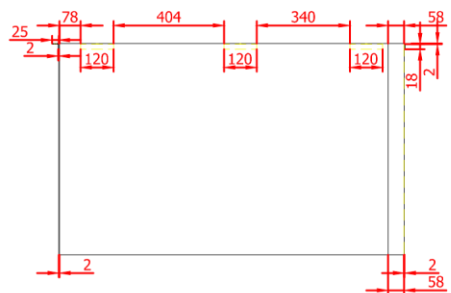
Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	
Recubrimiento	N/A		Dib. Ing. Danilo Moposita	
Material:	N/A	Tol.Gral. ±1 mm	Escala: 1:20	Dis. Ing. Danilo Moposita
Ensamblaje refractarios			COD.C-010	Rev. Ing. Iván Zambrano, MSc.
				Fecha: 28/03/23



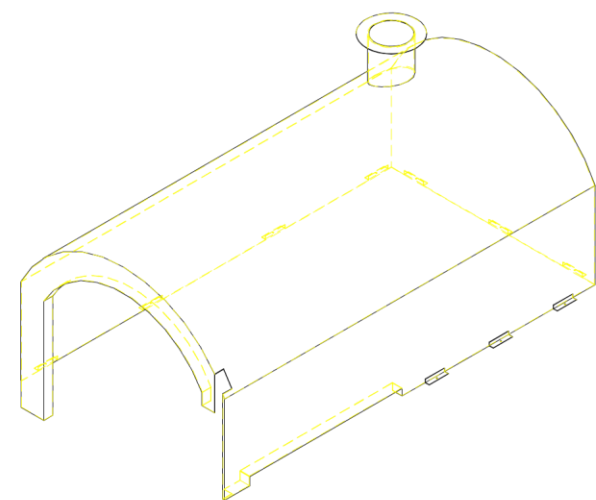
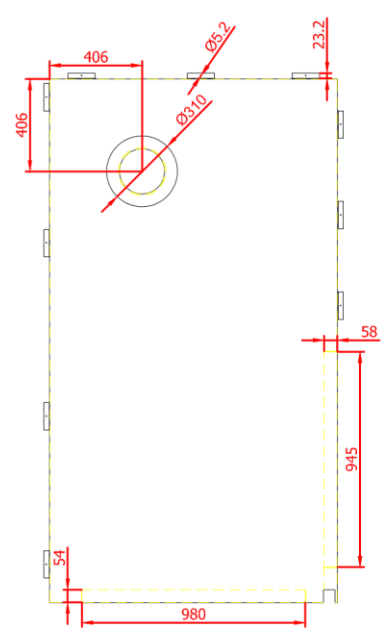
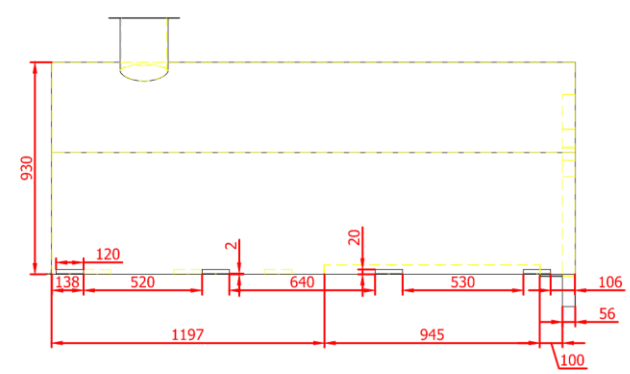
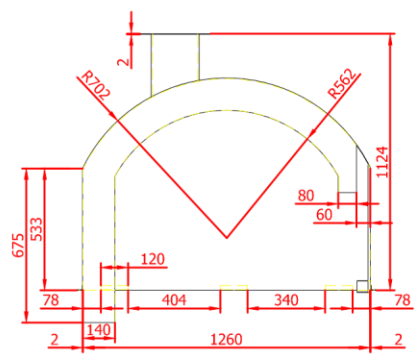
Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib. Ing. Moposita Danilo	Dis. Ing. Moposita Danilo
Material:	Ladrillo refractario	Tol.Gral. ±1 mm	Escala: 1:60	Rev. Ing. Iván Zambrano, MSc.
Cámara secundaria		COD.C-002		Fecha: 05/02/23



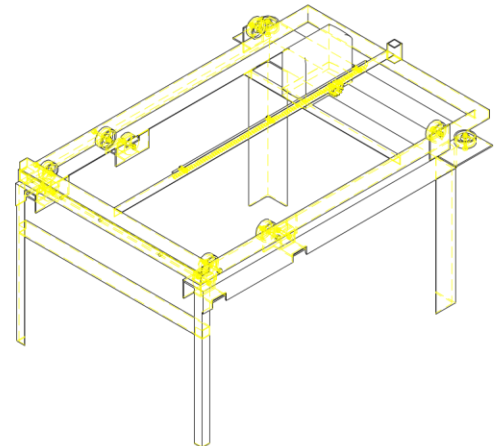
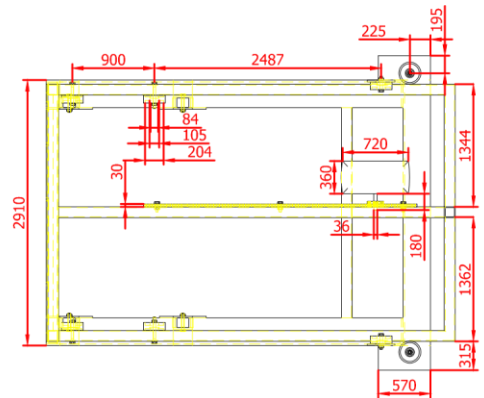
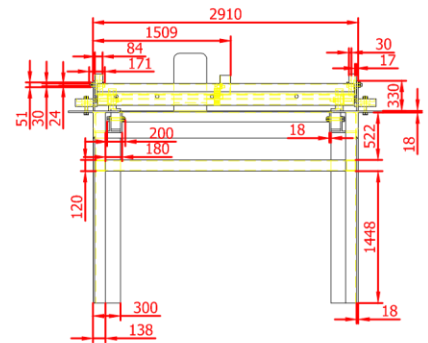
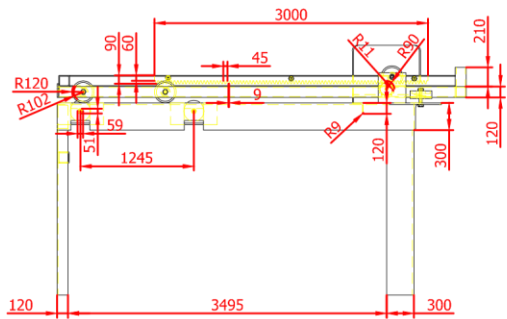
Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib.	Ing. Moposita Danilo
Material: Lana de vidrio	Tol.Grad. ±1 mm	Escala: 1:60	Dis.	Ing. Moposita Danilo
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
Capa de aislamiento		COD.C-004		Fecha: 05/02/23



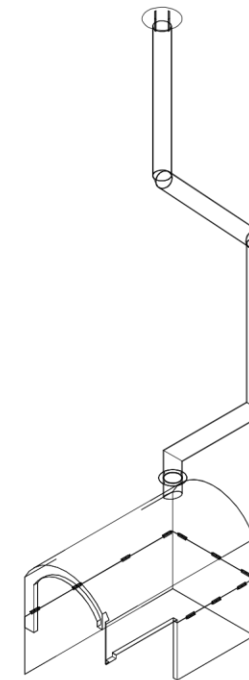
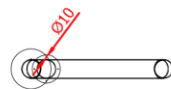
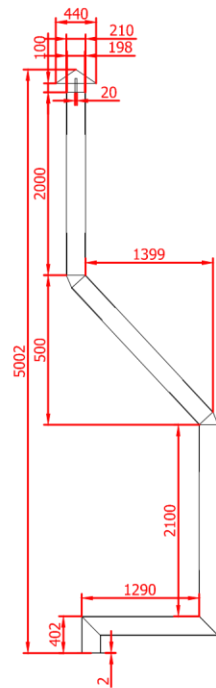
Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA		
Recubrimiento	N/A		Dib.	Ing. Moposita Danilo	
Material:	Metálica	Tol.Gral. ±1 mm	Escala:	Dis.	Ing. Moposita Danilo
			1:60	Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
Cárcasa inferior			COD.C-007		Fecha: 18/03/23



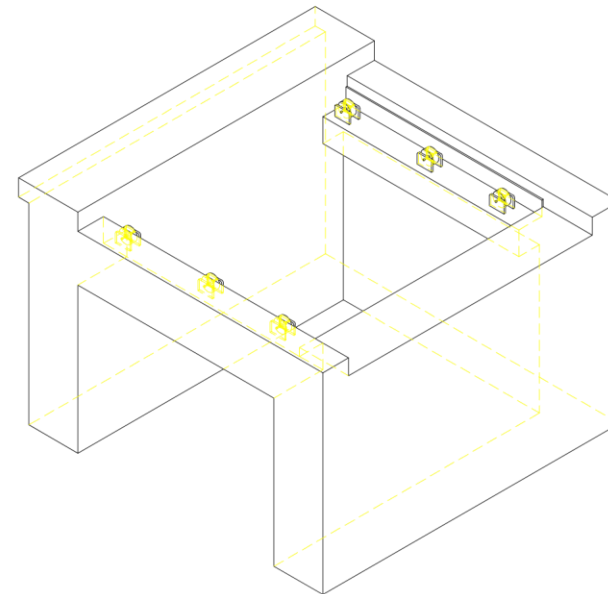
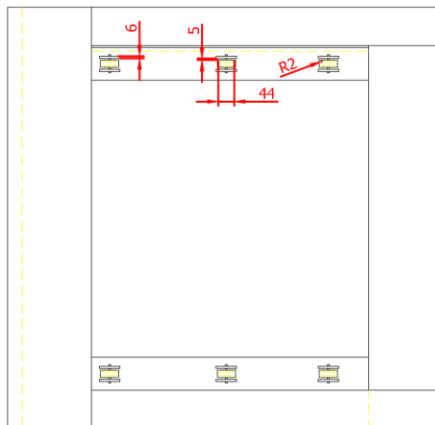
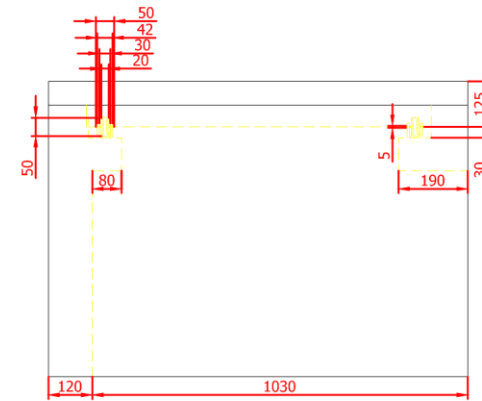
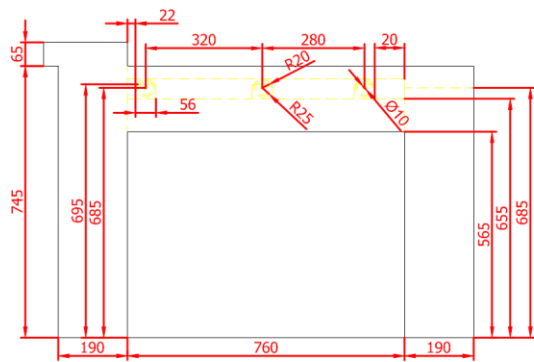
Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib. Ing. Moposita Danilo	Dis. Ing. Moposita Danilo
Material:	Metálica	Tol.Gral. ±1 mm	Escala: 1:60	Rev. Ing. Iván Zambrano, MSc.
Cárcasa superior		COD.C-006		Fecha: 18/03/23



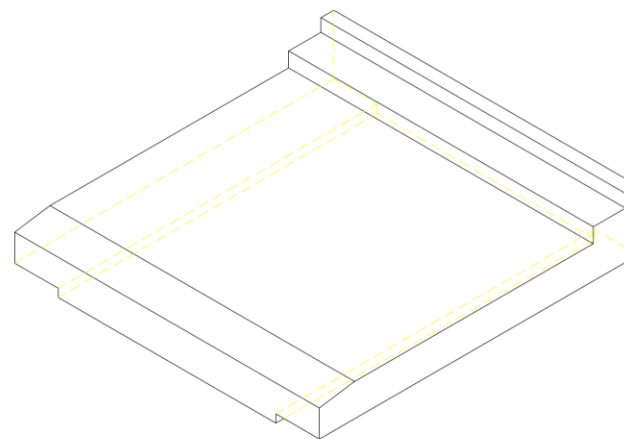
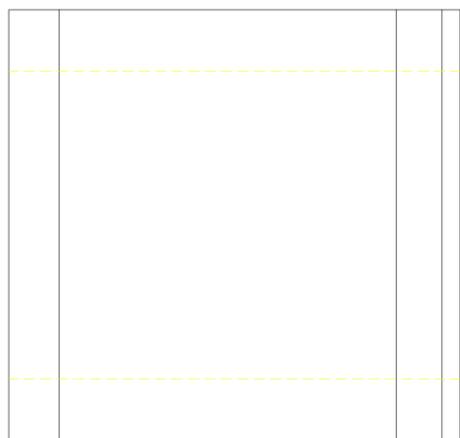
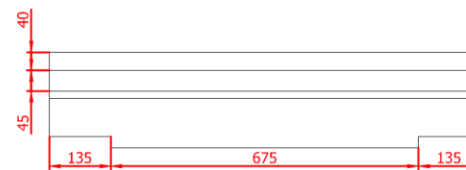
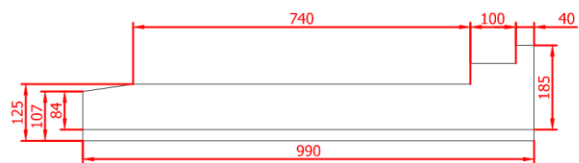
Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib. Ing. Moposita Danilo	Dis. Ing. Moposita Danilo
Material:	Metálica	Tol.Gral. ±1 mm	Escala: 1:60	Rev. Ing. Iván Zambrano, MSc.
Mesa compuerta		COD.C-008		Fecha: 26/03/23



Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA		
Recubrimiento	N/A		Dib.	Ing. Moposita Danilo	
Material:	Metálica	Tol.Gral. ±1 mm	Escala:	Dis.	Ing. Moposita Danilo
			1:60	Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
			Chimenea		COD.C-009
			Fecha:	26/03/23	



Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib.	Ing. Moposita Danilo
Material:	Ladrillo normal	Tol.Gral. ±1 mm	Dis.	Ing. Moposita Danilo
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
Base inferior		Escala:	Fecha:	
		1:60	26/03/23	
			COD.C-003	



Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	N/A		Dib.	Ing. Moposita Danilo	
Material:	Refractario	Tol.Gral. ±1 mm	Escala:	Dis.	Ing. Moposita Danilo
			1:60	Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
Compuerta corrediza			COD.C-005		Fecha: 28/03/23