

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales

“Propuesta de plan de mejora operativa y para la eficiencia térmica y energética del horno de fundición de la empresa de arte Casa Fage”

**Proyecto Final de Graduación para optar por el título de Ingeniera en
Materiales con el grado académico de Licenciatura**

Realizado por: Valery Arias Grillo

Profesor Guía: Ing. William Jesús Benavides Ramírez, M.Eng

Profesor Lector: Ing. Laria Rodríguez Quesada, M.Sc.

Profesor Lector: Ing. Alfredo Rodríguez Rojas, M.Sc.

Cartago, Noviembre, 2024

RESUMEN

Arias Grillo, Valery. Noviembre, 2024. "Propuesta de plan de mejora operativa y para la eficiencia térmica y energética del horno de fundición de la empresa de arte Casa Fage", Instituto Tecnológico de Costa Rica. Profesor asesor: Ing. William Jesús Benavides Ramírez, M.Eng

Este proyecto fue desarrollado en la empresa de arte "Casa Fage Hay S.A.". En esta empresa se realiza fundición de bronce para fabricar esculturas con un horno artesanal que utiliza aceite quemado. Al utilizar este combustible, se generan muchos residuos de combustión que se liberan en el taller y medio ambiente, lo que crea un problema para la empresa. También, la empresa desea reducir los costos del proceso. El objetivo del presente trabajo es desarrollar un plan de mejora para que la empresa logre aumentar su eficiencia térmica y energética del horno de fundición, reducir los costos de su proceso, disminuir su huella ambiental y mejorar la seguridad laboral de los trabajadores.

Se determinó el estado de la situación actual mediante mediciones de temperatura y el desarrollo de un análisis térmico, con el fin de encontrar puntos de mejora. Consecuentemente, se obtuvo como resultado que el horno presenta altas temperaturas superficiales que atentan contra la seguridad laboral de la empresa, además, el horno presenta un alto consumo de combustible por una alta cantidad de pérdidas de calor por conducción, por los gases de combustión y por deficiencias en el sistema de combustión. Un alto consumo de combustible se traduce en más emisiones de contaminantes. Debido a estas situaciones, se plantean las siguientes soluciones: un recubrimiento, un quemador eficiente y un cambio de combustible.

Con las soluciones propuestas, se lograría reducir el combustible utilizado un 26.28% y se aumentaría la eficiencia térmica del horno a 6.49%. Asimismo, las tres soluciones propuestas reducirían los residuos de combustión generados y esto disminuiría la huella ambiental de la empresa. Por último, la seguridad ambiental de la empresa mejoraría con la reducción de los residuos de combustión generados y con la disminución de la temperatura de la cara fría del horno.

ABSTRACT

Arias Grillo, Valery. November, 2024. "Proposal for an operational improvement plan and for the thermal and energetic efficiency of the smelting furnace of the art company Casa Fage", Instituto Tecnológico de Costa Rica. Professor: Eng. William Jesús Benavides Ramírez, M.Eng.

This project was developed in the art company "Casa Fage Hay S.A.". In this company, bronze is smelted to make sculptures. For this, they use an artisanal smelting furnace that uses burnt oil. The use of this fuel generates a great amount of combustion residues that are released into the workshop and the environment, which creates a problem for the company. In addition, the company wants to reduce the costs of the process. The objective of this project is to develop an improvement plan for the company to increase the thermal and energy efficiency of the smelting furnace, reduce the costs of its process, reduce its environmental footprint, and improve the occupational safety of its workers.

For this purpose, the current situation was determined through temperature measurements and the development of a thermal analysis, to find points for improvement. As a result, it was found that the kiln has high surface temperatures that threaten the company's occupational safety; in addition, the kiln has high fuel consumption due to a large amount of heat loss through conduction, combustion gases and deficiencies in the combustion system. High fuel consumption translates into higher pollutant emissions. Due to these situations, the following solutions are proposed: a lining, an efficient burner, and a fuel change.

The proposed solutions would reduce the fuel used by 26.28% and increase the thermal efficiency of the furnace to 6.49%. In addition, the three proposed solutions would reduce the combustion residues generated, which reduces the company's environmental footprint. Finally, the company's environmental safety would be improved by reducing the combustion residues generated and by reducing the temperature of the cold face of the furnace.

ACTA DE ENTREGA DEL INFORME FINAL DEL PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN

Se certifica que se ha recibido el Informe Final del Proyecto Final de Graduación, realizado por la estudiante Valery Arias Grillo, carné 2019157017, la cual se titula: “Propuesta de plan de mejora operativa y para la eficiencia térmica y energética del horno de fundición de la empresa de arte Casa Fage” y que se realizó en la empresa Casa Fage en el II Semestre de 2024.

El Proyecto Final de Graduación es un requisito académico del Programa de Licenciatura en Ingeniería en Materiales de la Escuela de en Ciencia e Ingeniería en Materiales del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Este documento ha sido declarado:

Público

Confidencial



Ing. William Jesús Benavides Ramírez, M. Eng
Profesor guía

Valery Arias Grillo
Estudiante

Ing. Laria Rodríguez Quesada, M.Sc.
Profesor Lector

Ing. Alfredo Rodríguez Rojas, M.Sc.
Profesor Lector

Ing. Ricardo Esquivel Isern, M.Sc
Director de la Escuela de Ciencia e
Ingeniería de los Materiales

Cartago, Noviembre, 2024

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DEL PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN

El presente Proyecto Final de Graduación titulado “Propuesta de plan de mejora operativa y para la eficiencia térmica y energética del horno de fundición de la empresa de arte Casa Fage” y realizado en la empresa “Casa Fage Hay S.A.”, durante el II Semestre de 2024, ha sido defendido, ante el Tribunal Examinador integrado por los profesores William Jesús Benavides Ramírez, Laria Rodríguez Quesada y Alfredo Rodríguez Rojas; como requisito para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Materiales de la Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Este documento y su defensa ante el Tribunal Examinador han sido declarados:

Públicos

Confidenciales



Ing. William Jesús Benavides Ramírez, M. Eng
Profesor guía

Valery Arias Grillo
Estudiante

Ing. Laria Rodríguez Quesada, M.Sc.
Profesor Lector

Ing. Alfredo Rodríguez Rojas, M.Sc.
Profesor Lector

Ing. Ricardo Esquivel Isern, M.Sc
Director de la Escuela de Ciencia e
Ingeniería de los Materiales

Cartago, Noviembre, 2024

CARTA DE ENTENDIMIENTO

Señores

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Biblioteca José Figueres Ferrer

Yo Valery Arias Grillo, carné 2019157017, autorizo (X) no autorizo () a la Biblioteca José Figueres del Instituto Tecnológico de Costa Rica disponer del Trabajo Final realizado por mi persona, con el título “Propuesta de plan de mejora operativa y para la eficiencia térmica y energética del horno de fundición de la empresa de arte Casa Fage” para ser ubicado en el Repositorio institucional y Catálogo SIBITEC para ser accedido a través de la red Internet.



Valery Arias Grillo

402510062

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mis padres, a mis hermanos y a mi familia, por su amor incondicional, por siempre creer en mí y apoyarme en mi educación. A mi novio, por su amor, por apoyarme emocionalmente y darme ánimos en momentos difíciles del proyecto.

A Casa Fage, que siempre me brindó el apoyo y ayuda para realizar mi proyecto de graduación y por creer en mi proyecto.

Agradezco al Ing. William Jesús Benavides Ramírez por todo el tiempo, la guía y el apoyo que me brindó durante el semestre. También agradezco al Ing. David Vargas Gómez por su guía y apoyo.

Agradezco a los amigos de la universidad que me acompañaron a lo largo de la carrera.

A todos, muchas gracias.

DEDICATORIA

*A mi madre y a mi padre, por
su amor incondicional, por siempre
creer en mí, por impulsarme siempre a
ser mejor cada día.*

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	ii
ABSTRACT.....	iii
ACTA DE ENTREGA DEL INFORME FINAL DEL PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN.....	iv
CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DEL PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN.....	v
CARTA DE ENTENDIMIENTO.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA	viii
ÍNDICE GENERAL	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
1. Introducción	16
1.1. Identificación de la empresa	17
1.2. Justificación del trabajo	18
1.3. Impacto Socioambiental.....	19
1.4. Objetivos.....	19
1.4.1. Objetivo General	19
1.4.2. Objetivos Específicos.....	19
1.5. Alcances y limitaciones	20
2. Marco Teórico.....	21
2.1. Fundición	22
2.2. Hornos de fundición.....	22
2.2.1. Horno de combustible	22

2.2.2. Combustibles para hornos.....	22
2.2.3. Materiales refractarios para hornos de combustible.....	23
2.2.4. Combustión.....	23
2.3. Optimización de hornos de fundición.....	24
2.4. Análisis térmico de hornos.....	25
2.4.1. Pérdidas de calor del horno.....	25
2.4.2. Cálculos de consumo energético para diferentes combustibles.....	26
2.4.3. Aire estequiométrico.....	27
2.4.4. Eficiencia.....	28
2.5. Gases de combustión.....	28
2.5.1. Manejo y disposición de residuos de gases de combustión.....	29
2.6. Normativa.....	29
3. Metodología.....	32
3.1. Cuadro metodológico.....	33
3.1.1. Objetivo específico 1.....	34
3.1.2. Objetivo específico 2.....	34
3.1.3. Objetivo específico 3.....	35
3.2. Método para la medición de las dimensiones del horno.....	35
3.3. Método para la medición de la temperatura externa del horno.....	35
3.4. Método para determinar el estado térmico actual del horno.....	35
4. Resultados y análisis.....	37
4.1. Situación actual.....	38
4.1.1. Medición de las dimensiones del horno.....	38
4.1.2. Medición de las temperaturas superficiales.....	39
4.1.3. Requerimiento energético actual.....	41

4.1.4. Pérdidas de calor actuales	42
4.1.5. Sistema de combustión actual	44
4.1.6. Cálculo de la eficiencia térmica actual del horno de fundición	46
4.2. Recubrimiento.....	46
4.2.1. Ahorro en pérdidas de calor por el recubrimiento	48
4.3. Cambio de combustible a gas LPG.....	50
4.3.1. Sistema a gas con cilindro estacionario de envasadora.....	51
4.4. Sistema de combustión	52
4.4.1. Sopladores	52
4.4.2. Quemadores.....	53
4.5. Plan de mejora.....	57
4.5.1. Recubrimiento	57
4.5.2. Cambio de combustible a gas LPG	58
4.5.3. Sistema de combustión.....	59
4.5.4. Recomendación de procedimiento	60
4.5.5. Resumen de los resultados del proyecto	61
4.5.6. Resumen económico del plan de mejora.....	62
4.5.7. Resumen ambiental del plan de mejora	63
4.5.8. Resumen de seguridad laboral del plan de mejora.....	63
5. Recomendaciones.....	65
6. Conclusiones	66
7. Bibliografía	68
8. Apéndices.....	75
8.1. Mediciones de las dimensiones del horno	76
8.2. Mediciones de las temperaturas del horno.....	77

8.3. Cálculos del proyecto.....	79
8.3.1. Energía actual.....	79
8.3.2. Cálculos de requerimiento energético.....	79
8.3.3. Cálculos de pérdidas de calor actuales.....	82
8.3.4. Cálculos de aire teórico de combustión	85
8.3.5. Cálculos de pérdidas de calor con un recubrimiento	86
8.3.6. Cálculos para seleccionar un quemador.....	99
8.3.7. Cálculo de combustible total y porcentaje de ahorro	103
8.4. Memoria de cálculo en Excel.....	108
8.5. Croquis de la instalación de la tubería de gas para el cilindro estacionario	141
9. Anexos	144
9.1. Cotizaciones y fichas técnicas del plan de mejora.....	145
9.2. Cotizaciones y fichas técnicas	152

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No.	Descripción	Página
	Tabla 1. Metodología y actividades por realizar para el cumplimiento de los objetivos.....	33
	Tabla 2. Propiedades del bronce.....	36
	Tabla 3. Propiedades de los materiales del horno	36
	Tabla 4. Propiedades de los combustibles	36
	Tabla 5. Dimensiones del horno de fundición	38
	Tabla 6. Dimensiones de la base cuadrada del horno de fundición	38
	Tabla 7. Resumen de las mediciones de las temperaturas superficiales del horno con la pistola infrarroja el 30/08/2024	39
	Tabla 8. Resumen de las mediciones de las temperaturas superficiales del horno con la pistola infrarroja el 27/09/2024.	40
	Tabla 9. Requerimiento energético actual del bronce, el horno y el crisol	41
	Tabla 10. Resumen de resultados de cálculos de pérdidas de calor actuales del horno de fundición	42
	Tabla 11. Resumen de resultados de cálculos de aire de combustión. ..	44
	Tabla 12. Opciones de materiales aislantes para recubrir el horno.	47
	Tabla 13. Láminas de hierro negro para el recubrimiento	48
	Tabla 14. Resumen de resultados del análisis térmico teórico del horno con recubrimiento de 2.54 cm y 5.08 cm de espesor	48
	Tabla 15. Opciones de empresas envasadoras de gas en Costa Rica.....	51
	Tabla 16. Resultados de los cálculos para el quemador nuevo	54
	Tabla 17. Empresas contactadas para obtener quemadores	55
	Tabla 18. Opciones de quemadores para el sistema de combustión.....	55
	Tabla 19. Cantidad necesaria de gas LPG	61
	Tabla 20. Tabla resumen económico del plan de mejora	62
	Tabla 21. Tabla resumen ambiental del plan de mejora.....	63
	Tabla 22. Tabla resumen seguridad laboral del plan de mejora	64
	Tabla 23. Dimensiones del horno de fundición.....	76

Tabla 24. Dimensiones de la tapa del horno de fundición	76
Tabla 25. Dimensiones de la base cuadrada del horno de fundición.....	76
Tabla 26. Dimensiones de los ladrillos refractarios	77
Tabla 27. Dimensiones de la pared de hierro del horno	77
Tabla 28. Mediciones de la temperatura de la cara fría del horno con la pistola infrarroja Fluke 62 MAX+ el 30/08/2024	77
Tabla 29. Mediciones de la temperatura de la cara fría del horno con la pistola infrarroja BTMETER BT-1500C el 27/09/2024	78
Tabla 30. Mediciones de la temperatura de la cara fría de la tapa con la pistola infrarroja BTMETER BT-1500C el 27/09/2024	78
Tabla 31. Mediciones de la temperatura de la cara caliente del horno con la pistola infrarroja BTMETER BT-1500C el 27/09/2024	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.	Descripción	Página
	Figura 1. Algunas de las esculturas y restauraciones producidas por Casa Fage. Fuente: (Casa Fage, 2024)	17
	Figura 2. Horno de crisol para fundición de bronce siliconado de la empresa “Casa Fage”	18
	Figura 3. Sistema de entrada de aire y combustible actual.	45
	Figura 4. Recubrimiento elegido. Fuente: (Aislamiento Industrial, 2024b)	58
	Figura 5. Quemador elegido. Fuente: (Quemadores Automáticos, 2024)	59
	Figura 6. Quemador económico. Fuente: (Grupo Delgado, 2024)	60
	Figura 7. Gases de combustión en el momento de apagar el horno	60
	Figura 8. Diagrama para la medición de las dimensiones de la base cuadrada del horno	77

1. Introducción

En el siguiente capítulo se presenta la introducción del proyecto, señalando las condiciones actuales de la empresa y los problemas presentes. Además, se presenta la justificación, el objetivo general y los objetivos específicos del proyecto.

1.1. Identificación de la empresa

“Casa Fage” es una empresa de arte fundada hace más de 30 años, siendo el único taller especializado en fundición de arte en el país. Encargado de la creación de esculturas de bronce siliconado, utilizando la técnica de fundición de cera perdida. Con esta técnica, la empresa ha podido fabricar muchas esculturas de artistas nacionales e internacionales, y han realizado diversas restauraciones en Costa Rica. En la **Figura 1** se muestran imágenes de algunas esculturas que la empresa ha logrado fabricar a lo largo de los años.

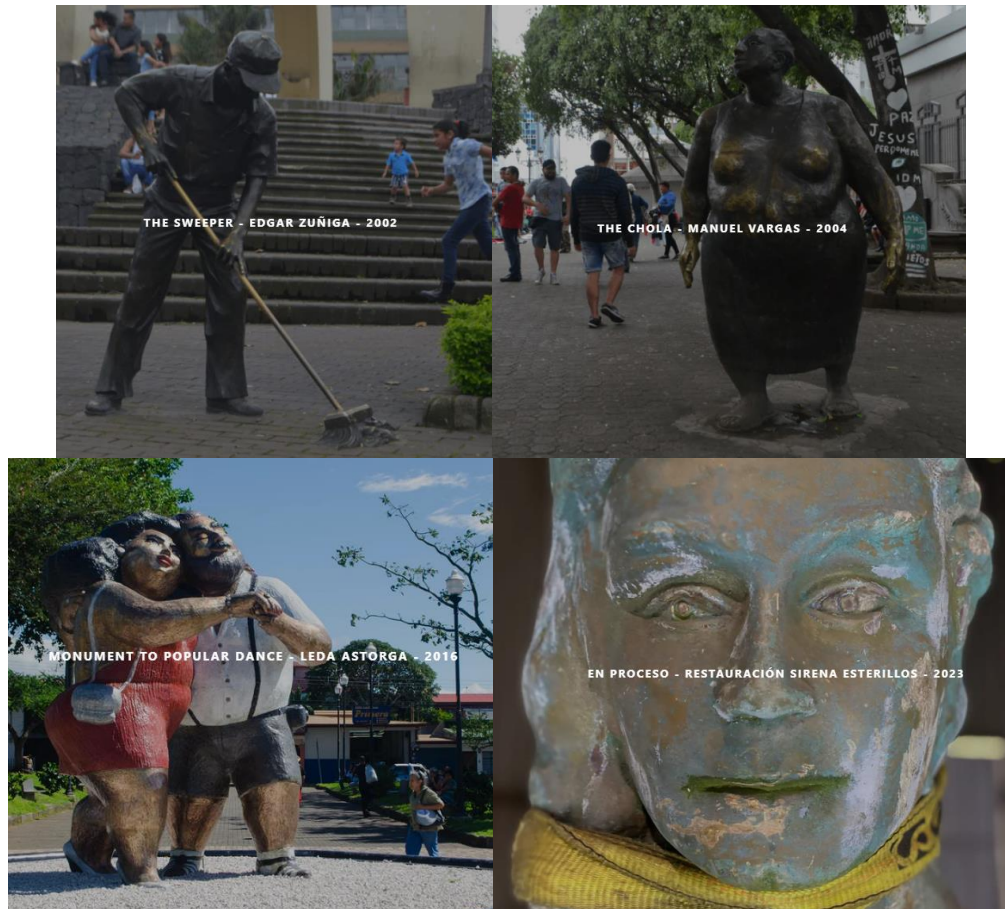


Figura 1. Algunas de las esculturas y restauraciones producidas por Casa Fage. Fuente: (Casa Fage, 2024)

Cuando la empresa fue fundada, se construyeron dos hornos artesanales, para la fundición de bronce y el desencerado de los moldes de cerámica, utilizando mortero y ladrillos refractarios. Después de cada cierto tiempo, se reemplazan los ladrillos refractarios al finalizar su vida útil. En cuanto a su proceso, la empresa funde 100 kg de bronce siliconado utilizando 37.8540 litros de aceite quemado refinado como fuente de energía en 3 horas

aproximadamente, para alcanzar una temperatura de colado de 1205°C (2220°F). Este trabajo se realizó en el horno de fundición, el cual se muestra en la **Figura 2**.



Figura 2. Horno de crisol para fundición de bronce siliconado de la empresa “Casa Fage”

1.2. Justificación del trabajo

Este trabajo surge de la necesidad que tiene la empresa de mejorar la eficiencia térmica y energética del horno de fundición para reducir los costos operativos, mejorar la seguridad laboral en las fundiciones, y reducir su huella ambiental. El uso de aceite quemado en una fundición genera muchos residuos de combustión y como consecuencia, se libera una gran cantidad contaminantes dentro del taller y al medio ambiente a través de los extractores de gases, afectando negativamente al medio ambiente y poniendo en riesgo la salud de los trabajadores de la empresa. Actualmente, se están utilizando 37.8540 L de aceite quemado en 3 horas. Si se reduce la cantidad de combustible requerido al mejorar la eficiencia del horno, se espera también reducir la cantidad de residuos de combustión generados. El desarrollo del plan de mejora con soluciones para estos problemas es esencial para que la

empresa pueda llegar a disminuir costos, proteger la salud de los empleados y cuidar al medio ambiente, una vez se implementen las mejoras.

1.3. Impacto Socioambiental

De acuerdo con lo mencionado, la empresa presenta problemas con los residuos de combustión generados en la fundición del bronce siliconado. Esta situación genera problemas ambientales y laborales, ya que, en la quema de combustibles, se liberan gases tóxicos para el ser humano. Por lo tanto, la propuesta de plan de mejora realizado en este trabajo pretende evidenciar una lista de pasos que permitan alcanzar una reducción de huella ambiental y tener una mejor calidad de aire en el lugar de trabajo para sus empleados.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Desarrollar un plan de mejora que aumente la eficiencia térmica y energética del horno de fundición de la empresa de arte “Casa Fage Hay S.A.” para la reducción de costos y de residuos del proceso de fundición.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la eficiencia energética actual del horno con una revisión de datos, la observación directa del proceso y la elaboración de un perfil térmico para la identificación de puntos de mejora y la determinación de al menos tres soluciones que aumenten la eficiencia térmica y energética y reduzcan costos y residuos.
- Analizar el aumento de la eficiencia térmica y energética del horno, el impacto económico y ambiental de las posibles soluciones mediante cálculos para la recomendación de soluciones factibles para la empresa.
- Incluir al menos una solución que reduzca los residuos de combustión, mediante una investigación de alternativas, con el fin de que la empresa disminuya su huella ambiental y mejore su seguridad laboral.

1.5. Alcances y limitaciones

Este proyecto tiene como alcance el desarrollo de un plan de mejora para optimizar el horno de fundición de bronce de la empresa “Casa Fage”. Se pretende proponer al menos tres soluciones para mejorar su eficiencia térmica y energética y su estado actual de residuos de combustión. Es necesario analizar el estado actual del horno y con esto encontrar aspectos por optimizar. El plan de mejora permitirá aumentar la eficiencia de la empresa gracias a una ruta señalada que mejoraría: la seguridad laboral y huella ambiental.

Debido a que la empresa actualmente no cuenta con el presupuesto para implementar cambios en los hornos, el proyecto se limita al desarrollo de un plan de mejora. Otra limitante es la toma de datos, debido a que la empresa realiza fundiciones una vez al mes, por lo que habrá pocas oportunidades donde se podrán recolectar datos de la fundición a lo largo del proyecto.

2. Marco Teórico

En esta sección se van a desarrollar los temas teóricos necesarios para desarrollar el plan de mejora para la empresa de fundición. Entre estos temas, están hornos de fundición y su análisis térmico, combustibles, gases de combustión, normativa para instalación de gas, entre otros.

2.1. Fundición

Uno de los procesos de manufactura de los objetos metálicos es la fundición. Este proceso consiste en llevar un metal o aleación hasta su punto de fusión para transformarlo en su estado líquido. Después, se vierte dentro de un molde que tenga la forma deseada (Prucha et al., 2008). Con este proceso de manufactura se pueden fabricar piezas de materiales como el hierro, acero, cobre, aluminio, magnesio, zinc, y diferentes aleaciones (Beeley, 2001) y (Prucha et al., 2008).

Un área donde se usa la fundición es el arte. Uno de los materiales de mayor uso para esta aplicación es el bronce. Es un material atractivo por sus propiedades como la resistencia a la corrosión y el color aportado a las esculturas (Entwistle, 2007). El método de la cera perdida es altamente utilizado en la industria del arte, ya que la cera es fácilmente manejable para hacer esculturas. Esta técnica es de gran utilidad por su capacidad de replicar muchos detalles de las esculturas que se complicarían con la fundición en arena verde (Dreher, 2010) y (Entwistle, 2007).

2.2. Hornos de fundición

2.2.1. Horno de combustible

Un tipo de horno utilizado en la industria de fundición es el horno de combustible. Estos hornos utilizan algún tipo de combustible para obtener energía mediante la combustión. Cuando se da una combustión completa del combustible, se alcanza la temperatura máxima de llama (Capello, 1974).

2.2.2. Combustibles para hornos

Hay varios tipos de combustibles que se utilizan en los hornos de fundición. Pueden ser combustibles sólidos, líquidos o gaseosos, como el coque, el aceite quemado, el Diesel, la gasolina, el búnker, el gas LPG, el gas natural, entre otros (Capello, 1974). Para efectos de este proyecto, se hablará solo del aceite quemado y del gas LPG.

El aceite quemado es un combustible que se compone de aceites usados que ya no cumple con su función, como en sistemas hidráulicos, sistemas de transmisión o motores. El aceite quemado tiene un poder calórico muy alto lo que lo hace una buena opción como fuente de energía, sin embargo, este tipo de combustibles libera muchos residuos de combustión al medio ambiente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

Existen empresas, como METALUB en Costa Rica, que refinan el aceite quemado para eliminar muchos de los contaminantes de este combustible y que sea un poco más amigable con el medio ambiente (METALUB, 2024).

El gas licuado de petróleo (LPG) es un combustible muy utilizado en hornos de fundición. Este combustible tiene un poder calórico alto, pero no tan alto comparado con el Diesel o el búnker (RECOPE, 2021). A pesar de esta desventaja, es un combustible más limpio que el aceite quemado. Esto lo hace una buena opción para que las empresas de fundición cumplan con las normativas ambientales que regulan las emisiones de gases al medio ambiente (RECOPE, 2023). Para utilizar gas como combustible, es necesario contar con el equipo adecuado para su disposición, como tanques de gas, mangueras, tubos, válvulas, entre otros.

2.2.3. Materiales refractarios para hornos de combustible

Los materiales refractarios son materiales que están compuestos de óxidos, carburos y nitruros (Bennett et al., 2005). Estos resisten hasta muy altas temperaturas, lo que los hace un buen material para construir paredes de hornos de fundición de metales, donde se alcanzan temperaturas muy altas (Gauthier, 1995).

2.2.4. Combustión

La combustión es un proceso muy importante en los hornos industriales, ya que debe estar muy controlada para aprovechar todo el poder calórico del combustible utilizado y generar la menor cantidad de residuos posible. Es necesario que el horno tenga una serie de instrumentos para quemar el combustible, entre los cuales están el quemador, el sistema de alimentación de aire y el sistema de alimentación de combustible. El sistema de combustión es importante para controlar que la relación de aire-combustible sea el adecuado para la combustión completa (Çengel & Boles, 2012).

Los sopladores son una parte importante de la combustión, ya que, si hay un déficit o un exceso de aire, se da una combustión incompleta y no se logra aprovechar completamente el poder calórico del combustible, además de que se generan más residuos de combustión (Çengel & Boles, 2012). En algunos casos, el aire de combustión se precalienta para aumentar la eficiencia térmica y reducir las emisiones de NO_x , y esto se puede lograr con sistemas de recuperación de calor de los gases de combustión (Baukal, 2003).

Los quemadores son componentes del sistema de combustión donde realiza una adecuada mezcla de combustible con aire y se libera la llama (Baukal, 2003). Esta mezcla sirve para que el combustible pueda quemarse de manera adecuada con suficiente oxígeno para que se logre una combustión completa y la eficiencia de combustión no se reduzca. Hay diferentes tipos de quemadores, se pueden clasificar por el nivel de mezcla, por el tipo de combustible, por el tipo de comburente utilizado, entre otros (Baukal, 2003).

Por otra parte, los quemadores deben tener la capacidad de entregar al horno un calor por hora, en W o en BTU/h (British Thermal Units/hora). Es necesario conocer el valor de la energía utilizada en el proceso. Se debe considerar las pérdidas de calor por las paredes, el requerimiento energético para realizar el proceso (calentar el horno y fundir el material), las pérdidas de calor a través de los gases de combustión. Sumando lo anterior, se puede obtener la capacidad del quemador (Çengel & Boles, 2012).

2.3. Optimización de hornos de fundición

Para aumentar el rendimiento de los hornos de fundición, se pueden realizar algunos cambios que mejoren el proceso, de manera que se disminuyan los costos y los contaminantes.

Un tipo de optimización en hornos se da al tener un mejor control en el sistema alimentación de aire de combustión. En el trabajo de (Uribe Silva, 2004), se realizó una optimización de un horno de llama invertida, en el cual se implementó un sistema que controla la entrada de aire al quemador a través de señales recibidas desde la chimenea, en donde se miden los gases de combustión, y con esto logró optimizar la entrega de aire de combustión en el horno.

Otro aspecto que puede optimizar un horno de fundición es la implementación de sistemas de recuperación de calor residual de los gases de combustión a altas temperaturas. Este proceso se realiza para obtener el calor residual de estos gases y reutilizarlo en otro proceso, o en otras etapas del proceso. En el trabajo de (Oquendo Acevedo & Ramírez Chica, 2017), se diseñó un intercambiador de calor donde se recupera el calor de los gases de combustión y se reutiliza para calentar agua a 45°C, de manera que se ahorra energía en el proceso y se reduce el desperdicio del proceso de combustión.

2.4. Análisis térmico de hornos

Para analizar la eficiencia energética de hornos de fundición, es necesario calcular todas las entradas y salidas de calor que este tiene. Se utilizaron las ecuaciones que se muestran a continuación.

2.4.1. Pérdidas de calor del horno

Para calcular las pérdidas de calor de un horno, hay que considerar los mecanismos de transferencia de calor que afectan el proceso. Estos pueden ser transferencias de calor por conducción, convección y radiación. La siguiente ecuación describe el balance de energía en la superficie (Çengel, 2007):

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad} \quad (1)$$

La conducción se da en las paredes del horno, donde el calor fluye a través de estas. En un horno, se considera la temperatura de la pared interna del horno (cara caliente) y la temperatura de la pared externa del horno (cara fría). El fenómeno de conducción depende de la conductividad térmica de los materiales que componen el horno, el espesor de las paredes y el área de estas. Este se explica con la ley de Fourier de la conducción de calor, la cual se muestra a continuación (Çengel, 2007):

$$\dot{Q}_{cond} = \frac{\Delta T}{R} \quad (2)$$

Donde:

ΔT : diferencia de temperatura entre las dos superficies de la pared en °C

R: resistencia total de la pared del horno en °C/W

La resistencia total del horno depende de la configuración de este. Para hornos en forma de cilindro, la resistencia total está dada por la siguiente ecuación (Çengel, 2007):

$$R_{cilind} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi Lk} \quad (3)$$

Donde:

r_2 : radio externo del cilindro en m

r_1 : radio interno del cilindro en m

k: conductividad térmica del material de la pared en W/m.°C

L: Longitud del cilindro en m

Por otro lado, la convección es un fenómeno que se da cuando el aire circundante alrededor del horno interactúa con las paredes de este y les roba calor. La convección se expresa con la Ley de Newton del enfriamiento, con la siguiente ecuación (Çengel, 2007):

$$\dot{Q}_{conv} = h_{conv}A_{sup}(T_{sup} - T_{amb}) \quad (4)$$

Donde:

h_{conv} : coeficiente transferencia de calor por convección en $W/m^2 \cdot ^\circ C$

A_{sup} : área superficial del horno que está en contacto con el aire circundante en m^2

El coeficiente de transferencia de calor por convección es un parámetro experimental, pero existen valores teóricos que pueden ser utilizados para realizar cálculos teóricos. En la convección libre de gases, el h_{conv} se estima de 2 a 25 $W/m^2 \cdot ^\circ C$, y en la convección forzada de gases el h_{conv} se estima de 25 a 250 $W/m^2 \cdot ^\circ C$ (Çengel, 2007).

Por último, se tiene la transferencia de calor por radiación, la cuál es la “energía emitida por la materia en forma fotones” (Çengel, 2007). Esta ocurre en todos los cuerpos que tienen una temperatura por encima del cero absoluto. Este fenómeno se expresa por la ley de Stefan-Boltzmann, con la siguiente ecuación (Çengel, 2007):

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon\sigma A_{sup}(T_{sup}^4 - T_{amb}^4) \quad (5)$$

Donde:

ε : emisividad de la superficie

σ : constante de Stefan-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$)

A_{sup} : área superficial del horno en m^2

T: temperatura termodinámica en K

2.4.2. Cálculos de consumo energético para diferentes combustibles

Otro aspecto importante por considerar es el requerimiento energético para fundir el metal del proceso, donde se utiliza la siguiente ecuación (Capello, 1974):

$$Q_f = mC_{p(s)}(T_f - T_i) + mL_f + mC_{p(l)}(T_c - T_f) \quad (6)$$

Donde:

m: masa del metal a fundir en kg

$C_{p(s)}$: calor específico del metal a fundir en estado sólido $J/kg \cdot ^\circ C$

$C_{p(l)}$: calor específico del metal a fundir en estado líquido $J/kg \cdot ^\circ C$

L_f : calor latente de fusión del metal a fundir en J/kg

T_f : temperatura de fusión del metal a fundir en °C

T_i : temperatura inicial del metal a fundir en °C

T_c : temperatura de colada del metal a fundir en °C

De igual manera, se puede utilizar la primera parte de la **ecuación (6)** para calcular cuánta energía se necesita para calentar el horno desde temperatura ambiente hasta la temperatura final T_f del proceso. Como $C_{p(s)}$, se utiliza el calor específico de las paredes hechas de ladrillo refractario.

$$Q = mC_{p(s)}(T_f - T_i) \quad (7)$$

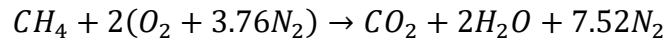
Todas las pérdidas de calor y la energía requerida durante el proceso de fundición pueden convertirse a litros o kg de combustible utilizando el poder calórico de estos. El poder calórico de un combustible es la energía que se libera por cada litro o kilogramo de combustible quemado [J/L] o [J/kg] (Çengel & Boles, 2012). Con este valor, se puede hacer la conversión para saber cuántos litros o kilogramos de combustible se necesitan para generar la energía total requerida durante el proceso de fundición de un metal.

2.4.3. Aire estequiométrico

Para realizar la combustión completa del combustible, se necesita comburente (aire). En el caso ideal, se añade la cantidad suficiente de aire y ocurre una combustión completa, donde todo el carbono presente en el combustible utilizado se convierte en CO_2 y se aprovecha todo su poder calórico. En algunos casos, puede ocurrir una reacción incompleta, donde no se quema todo el carbono del combustible. Esto puede ocurrir cuando el proceso de combustión no tiene suficiente aire para reaccionar, o cuando hay una cantidad de oxígeno mayor a lo necesario. Esto resulta en una reducción del poder calórico del combustible (Çengel & Boles, 2012).

Para asegurar una combustión completa, es necesario calcular cuánto aire se necesita en la reacción del combustible, utilizando la ecuación del aire estequiométrico, conocida como “cantidad de aire químicamente correcta” (Çengel & Boles, 2012). En este cálculo, se añade la cantidad necesaria de aire “ $a_{teórico}(O_2 + 3.76N_2)$ ” (Çengel & Boles, 2012) en la ecuación química de combustión del combustible. Además, es necesario sobreestimar un poco la cantidad de aire para asegurar que todo el combustible se va a quemar eficientemente.

El aire teórico puede verse ejemplificado en la ecuación de combustión para 1 mol de metano a continuación (Çengel & Boles, 2012):



Después de balanceada la reacción para el combustible deseado, se toma el valor de la cantidad de moles de O_2 y N_2 introducidos, más un porcentaje de exceso de aire. Una vez realizado este proceso, es posible obtener la cantidad de mol de aire teórico total para la reacción de combustión. Se considera que 1 mol de gas ideal ocupa un volumen de 22.4 L, suponiendo que el aire de combustión se encuentra a presión normal (Upadhyaya & Dube, 1977). Se puede utilizar este valor para obtener un volumen de aire por cada kilogramo de combustible quemado, y considerando el consumo de combustible por hora, se puede determinar un valor teórico de caudal de aire.

2.4.4. Eficiencia

La eficiencia del horno es un valor importante para saber cuánta cantidad de energía es realmente aprovechada del total disponible en el proceso de combustión. Esto se puede calcular con la siguiente ecuación (Capello, 1974):

$$\eta = \frac{E_{aprovechada}}{E_{total}} \times 100 \quad (8)$$

2.5. Gases de combustión

Uno de los residuos presentes en los gases de combustión son los compuestos NO_x . Este tipo de compuesto es clasificado como gas tóxico generando problemas de salud para los seres humanos y medio ambiente (Aslan Reşitoğlu, 2020). Además, en la combustión se generan gases como dióxido de carbono (CO_2) y monóxido de carbono (CO) los cuales también son altamente nocivos para la salud humana y son contaminantes del medio ambiente. Adicionalmente, pueden producirse restos de carbono sólido (hollín) (Çengel & Boles, 2012). Por estas razones, es importante tratar los gases de combustión que salen de los hornos de fundición.

2.5.1. Manejo y disposición de residuos de gases de combustión

Una manera de controlar la emisión de CO es controlar la cantidad de aire que entra en la cámara de combustión, ya que normalmente se genera este compuesto cuando hay combustión incompleta y se generan humos negros con hollín (Çengel & Boles, 2012). Otra manera de reducir los contaminantes generados es con un cambio a un combustible más limpio que genere menos residuos de combustión, como el gas LPG (RECOPE, 2023).

Los gases de combustión se pueden manejar mediante extractores de gas. Estos equipos tienen ventiladores que se encargan de extraer gases perjudiciales y moverlos a través de ductos, para que las personas dentro del área de fundición tengan un aire limpio para trabajar y reducir su exposición a esos componentes nocivos para su salud (Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), s. f.). Existen extractores industriales que hacen pasar el gas a través de filtros purificadores de aire para limpiar los contaminantes que puedan existir en los gases (S&P Sistemas de Ventilación SLU, 2018). Existen otras maneras de tratar los gases de combustión, como sistemas de separación de las partículas nocivas de gases de combustión industriales (Elehinafe et al., 2024).

2.6. Normativa

Para realizar la instalación del cilindro y tuberías, la empresa instaladora de las tuberías y el cilindro debe realizar el trabajo siguiendo lo establecido en algunas normas. Entre estas se encuentran el Código para el Gas Licuado de Petróleo NFPA 58 de The National Fire Protection Association (NFPA), el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones del Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (CFIA) y el Reglamento Nacional de Protección Contra Incendios de Bomberos de Costa Rica.

El alcance del Código para el Gas Licuado de Petróleo NFPA 58 es el almacenamiento, manejo, transporte y uso del gas LPG. Este se aplica a contenedores, tuberías, y equipo asociado que maneje gas LPG, además, contiene información sobre el diseño, construcción, instalación y operación de las tuberías y accesorios requeridos. En este se habla sobre las normas que se deben seguir para las siguientes secciones: equipos y aparatos de gas LPG, instalación de sistemas de gas, transferencia de gas, almacenamiento de cilindros, transporte vehicular de gas, entre otros (National Fire Protection Association (NFPA), 2024).

El alcance del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones del Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica es asegurar la calidad adecuada de las obras, establecer requisitos mínimos para asegurar la salud pública, la seguridad y bienestar de los edificios de ocupación humana. Se debe seguir en las etapas de diseño, construcción, instalación, reparación, readecuación, reemplazo, relocalización, adición o remodelación de los edificios. Este código contiene un capítulo sobre las instalaciones de gas LPG (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2017).

El Reglamento Nacional de Protección Contra Incendios de Bomberos de Costa Rica es obligatorio para el diseño las nuevas edificaciones, edificios existentes, remodelaciones, cambios de uso, diseño e instalación de sistemas de protección contra incendios. Este reglamento tiene un capítulo sobre Gas Licuado de Petróleo, sobre el almacenamiento, uso y manipulación de este gas (Bomberos Costa Rica Unidad de Ingeniería, 2023).

A continuación, se resumen los requerimientos que debe cumplir una instalación de gas LPG según los tres documentos mencionados anteriormente (National Fire Protection Association (NFPA), 2024), (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2017) y (Bomberos Costa Rica Unidad de Ingeniería, 2023):

- Para la instalación del sistema de gas, los códigos indican que los cilindros de gas de más de 125 galones deben estar localizados afuera del edificio. Puede tener alguna valla o estructura alrededor que evite el contacto con las personas. La valla debe ser material no combustible, debe tener al menos una puerta y debe dejar espacio entre la pared y el contenedor para poder inspeccionarlo. Además, se debe poder mojar la parte superior del cilindro en caso de emergencias. No debe acumularse ningún liquido o flujo de líquidos inflamables. El contenedor debe tener señalización adecuada, que indique que es un gas inflamable, que está prohibido fumar y debe tener el rombo de seguridad que indique: Inflamabilidad: 4, Riesgo a la salud: 1, Reactividad: 0.

- Se indica que las tuberías deben ser de hierro forjado, acero negro, galvanizado o al carbono, cobre tipo K o tipo L, o acero inoxidable corrugado, y cualquier tubería a instalar debe ser nueva. Toda la tubería debe tener soportes, con un espaciamiento de 1.8 m, 2.4 m o 3 m según el diámetro de la tubería. Si la tubería de gas debe ir bajo tierra, debe estar enterrada

a al menos 30cm si el tubo es de metal, y 45cm si el tubo es de plástico. Toda la instalación debe estar certificada para su uso con gas LPG.

- En cuando a los accesorios, se indica que los cilindros de gas deben tener dispositivos como: válvulas de alivio de presión, válvulas sísmicas, conectores, reguladores de presión y detectores de gas.

- Todos los accesorios de la tubería deben ser de hierro maleable, del mismo material de las tuberías o de plástico certificado para uso con gas. Se deben colocar válvulas de alivio de presión junto con protector para evitar que la lluvia dañe el dispositivo, y debe estar en una zona abierta y ventilada. Las válvulas de corte deben colocarse cerca del equipo que alimenta, dentro del mismo cuarto, a una distancia de 90 cm, y antes del ingreso de la tubería al edificio. Las válvulas sísmicas deben colocarse a la salida del regulador y fijadas a un muro, para cortar automáticamente el suministro de gas en caso de sismo de alta intensidad. Los reguladores de presión deben instalarse en sitios con buena ventilación y donde sean accesibles para su mantenimiento. Los equipos de consumo de gas deben conectarse a la tubería de gas utilizando conectores adecuados, como conectores metálicos que no excedan los 92 cm. El diámetro de la tubería de salida de alimentación debe ser de al menos 1,2cm.

- En recipientes de 946 L o un valor superior, se deben colocar detectores de fuga, donde se encuentren los equipos que utilicen el gas. Cuando este sensor se active, debe enviar una señal a una válvula de cierre para cortar el suministro de gas en cada salida de la tubería y en la salida del tanque de gas.

3. Metodología

Este proyecto busca desarrollar un plan de mejora con soluciones viables económicamente para mejorar la eficiencia térmica y energética del horno de fundición de la empresa, además, soluciones que brinden una mejor seguridad laboral y ambiental a los empleados. En la siguiente sección, se detallará la metodología para cumplir con los objetivos propuestos.

3.1. Cuadro metodológico

Tabla 1. Metodología y actividades por realizar para el cumplimiento de los objetivos.

Objetivo Específico	Productos	Tareas	Equipo utilizado
OE1 Evaluar la eficiencia térmica y energética actual del horno con una revisión de datos, la observación directa del proceso y la elaboración de un perfil térmico para la identificación de puntos de mejora y la determinación de al menos tres soluciones que aumenten la eficiencia energética y reduzcan costos y residuos.	Estado actual del horno. Soluciones que aumenten la eficiencia energética y reduzcan costos y residuos.	1. Hacer una investigación bibliográfica sobre optimización en hornos de crisol	Bases de datos Cinta métrica Pistolas termográficas Excel Libros de texto
		2. Realizar visitas a la empresa para documentar el proceso	
		3. Anotar todas las características físicas de los hornos	
		4. Solicitar datos históricos a la empresa sobre el consumo de combustible	
		5. Medir la temperatura superficial de los hornos en una fundición	
		6. Identificar posibles soluciones para aumentar la eficiencia energética	
		7. Realizar cálculos de la situación energética actual	
OE2 Analizar el aumento de la eficiencia térmica y energética del horno, y el impacto económico de las posibles soluciones mediante cálculos para la recomendación de soluciones factibles para la empresa.	Resultados del impacto de las mejoras Cuadros comparativos económicos de las soluciones propuestas. Plan de mejora	1. Realizar cotizaciones para determinar el costo de las posibles soluciones	Cotizaciones Excel AutoCAD Normativas Libros de texto
		2. Analizar el impacto económico de las soluciones	
		3. Redactar plan de mejora que incluya las soluciones propuestas	
OE3 Incluir al menos una solución que reduzca los residuos de combustión, mediante una investigación de alternativas, con el fin de que la empresa disminuya su huella ambiental y mejore su seguridad laboral.	Solución para disminuir los residuos. Cuadro con beneficios ambientales y de seguridad laboral de las soluciones propuestas	1. Realizar una investigación bibliográfica sobre disminución y manejo de residuos de combustión en hornos de crisol	Bases de datos Libros de texto Excel
		2. Identificar posibles soluciones para la reducción de los residuos de combustión	
		3. Analizar el impacto ambiental y en seguridad laboral de las soluciones	
		4. Incluir una solución para la reducción de residuos en el plan de mejora	
	Informe final y publicación	Redactar informe final y publicación	

3.1.1. Objetivo específico 1

“Evaluar la eficiencia energética actual del horno con una revisión de datos, la observación directa del proceso y la elaboración de un perfil térmico para la identificación de puntos de mejora y la determinación de al menos tres soluciones que aumenten la eficiencia térmica, energética y reduzcan costos y residuos.”

Se realizó una investigación bibliográfica sobre optimización en hornos de fundición para incluir en el marco teórico algunas soluciones propuestas por otras personas para problemas similares a este proyecto. Con esto, se amplió el conocimiento sobre optimización de hornos y sobre la situación de los hornos para poder identificar posibles soluciones al problema de la empresa.

Además, se realizaron visitas a la empresa con múltiples objetivos: tener una visión más amplia del problema, y recolectar más datos sobre la situación actual de la empresa mediante registros de la empresa y de la observación del proceso y de los hornos. Con esto, se realizaron los cálculos necesarios para analizar el estado actual del horno de fundición para encontrar algunas soluciones al proceso y comparar el estado actual con posibles estados energéticos teóricos después de implementar mejoras en el horno.

Una vez avanzada la investigación bibliográfica y la recolección de datos, se solicitaron algunas herramientas para la medición de temperatura a la Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales, para poder realizar cálculos térmicos del horno. Después de realizado esto, se analizaron los resultados de la memoria de cálculo, con el fin de identificar puntos de mejora para aumentar la eficiencia energética del horno de fundición.

3.1.2. Objetivo específico 2

“Analizar el aumento de la eficiencia térmica y energética del horno, y el impacto económico de las posibles soluciones mediante cálculos para la recomendación de soluciones factibles para la empresa.”

Para que la empresa pueda ver el impacto que tendrán las soluciones, se analizó el impacto económico, de seguridad laboral y de seguridad ambiental que tendrá cada una de estas en la empresa. Después de realizados estos análisis, se redactó el plan de mejora, que incluye estos cuadros comparativos, una lista de proveedores, costos, tipo de instrumentos necesarios por implementar y todos los aspectos necesarios para que la empresa pueda implementar las mejoras.

3.1.3. Objetivo específico 3

“Incluir al menos una solución que reduzca los residuos de combustión, mediante una investigación de alternativas, con el fin de que la empresa disminuya su huella ambiental y mejore su seguridad laboral.”

También, se realizó una investigación bibliográfica sobre disminución de residuos de combustión en hornos de crisol para incluir algunas soluciones en el marco teórico. Con esto, se identificaron algunas posibles soluciones al problema de los residuos de combustión del horno de fundición. Después, se seleccionó al menos una solución para disminuir los residuos de combustión del proceso para reducir la huella ambiental de la empresa y mejorar la seguridad laboral de los trabajadores.

3.2. Método para la medición de las dimensiones del horno

Para realizar los cálculos para el análisis térmico del horno, fue necesario conocer las dimensiones del horno de fundición. Se utilizó una cinta métrica y se hicieron 3 mediciones diferentes en cada dimensión del horno.

3.3. Método para la medición de la temperatura externa del horno

Para realizar los respectivos cálculos para el análisis térmico del horno, fue necesario conocer la temperatura de la cara fría y la cara caliente del horno durante la fundición. Se midió la temperatura de estas con la pistola infrarroja Fluke, modelo 62 MAX+, la cual se solicitó en el Centro de Investigación y Extensión en Materiales (CIEMTEC) del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Esta pistola mide hasta una temperatura máxima de 660°C. Además, se contó con la pistola infrarroja de la empresa, marca BTMETER, modelo BT-1500C, para medir las temperaturas superficiales, la cual mide hasta una temperatura máxima de 1500°C.

Las mediciones de temperatura se comenzaron después de 20-30 minutos de encendido del horno, y a partir de esa hora, se tomaron tres mediciones diferentes de cara fría del horno cada 15 minutos. Esto se realizó hasta antes de que se comenzara con la extracción del crisol y el llenado de los moldes de fundición.

3.4. Método para determinar el estado térmico actual del horno

El estado actual del horno se obtuvo mediante los cálculos y ecuaciones mencionadas en la **Sección 2.4 de Análisis térmico de hornos** desarrollada en el Marco Teórico. Se

utilizaron algunas propiedades de los materiales que componen todo el proceso de la fundición, las cuales se muestran a continuación. En la **Tabla 2** se muestran algunas de las propiedades del bronce siliconado utilizado en la empresa para hacer las esculturas. En la **Tabla 3** se muestran algunas propiedades de los materiales que constituyen el horno de fundición. En la **Tabla 4** se muestran algunas propiedades de los combustibles utilizados para fundición de metales.

Tabla 2. Propiedades del bronce

Propiedad	Valor	Unidades
Calor específico en estado sólido ($C_{p_{\text{bronce}}}$) ¹	385	J/kg.°C
Calor latente de fusión ($L_{f_{\text{bronce}}}$) ¹	240	J/°C
Calor específico en estado líquido ($C_{p_{\text{bronce(l)}}}$) ¹	385	J/kg.°C
Temperatura de fusión (T_f) ²	976	°C
Temperatura inicial (T_i) ²	24	°C
Temperatura de colada (T_c) ²	1204	°C

Fuente: ¹ (AZO Materials, 2024), ² (ATLAS Metal Sales, s. f.)

Tabla 3. Propiedades de los materiales del horno

Material	Conductividad térmica (k) [W/m.°C]	Calor específico (C_p) [J/kg.°C]	Emisividad (ϵ)	Densidad (ρ) [kg/m ³]
Ladrillos refractarios	1.69 ¹	960 ²	0.75 ²	--
Capa de hierro	26.9 ³	--	0.94 ⁴	--
Crisol	--	700 ⁵	--	3100 ⁵

Fuente: ¹ (Vulcano Ladrillos Refractarios, s. f.), ² (Çengel, 2007), ³ (MatWeb, s. f.), ⁴ (SRC – Sistemas de regulación y control, s. f.), ⁵ (American Elements, 2024)

Tabla 4. Propiedades de los combustibles

Combustible	P.C. [kJ/L]	Costo [¢/L]	Densidad (ρ) [kg/L]
Aceite quemado ¹	38372.933	528.35	0.8527
Gas LPG	25680 ²	372.68 ³	0.5583 ⁴

Fuente: ¹ (METALUB, 2023), ² (RECOPE, 2021), ³ (ARESEP, 2024), ⁴ (RECOPE, 2015)

4. Resultados y análisis

En el siguiente capítulo se encuentran los resultados de todos los cálculos del análisis térmico para determinar el estado actual de horno y encontrar puntos de mejora, junto con su análisis. Además, se encuentran los resultados de las soluciones propuestas, su análisis, las diversas cotizaciones realizadas y la sección del plan de mejora.

4.1. Situación actual

La situación actual del horno se determinó con las dimensiones del horno y las temperaturas de este, y con estos datos, se realizaron los cálculos de las energías involucradas en el proceso.

4.1.1. Medición de las dimensiones del horno

En las siguientes tablas se muestra un resumen con el valor promedio de las 3 mediciones de cada una de las dimensiones del horno. Las tablas completas se encuentran en el **Apéndice 8.1**.

Tabla 5. Dimensiones del horno de fundición

Horno		
D_{ext.f}	82.7667	cm
D_{int.f}	56.9667	cm
H_{ext.f}	52.8333	cm
H_{int.f}	47.0000	cm
e_f	13.5667	cm
Tapa		
D_{ext.t}	81.3333	cm
D_{int.t}	34.9333	cm
H_{ext.t}	17.6333	cm
H_{int.t}	12.2667	cm
Ladrillos refractarios de la base		
Altura	6.2667	mm

Tabla 6. Dimensiones de la base cuadrada del horno de fundición

Base cuadrada		
A	100.5000	cm
B	100.3000	cm
C	100.5000	cm
D	100.5000	cm
a	7.7333	cm
b	9.0333	cm
c	7.7333	cm
d	8.9667	cm
Altura	15.5000	cm

4.1.2. Medición de las temperaturas superficiales

Para determinar el estado actual del horno de fundición de la empresa, fue necesario conocer las temperaturas superficiales de este. Se siguió el procedimiento mencionado en la metodología. En la **Tabla 7** se muestran los resultados de las mediciones de temperatura de la cara fría del horno, tomadas con la pistola infrarroja el 30 de agosto de 2024. Como no se obtuvo mucha información sobre la temperatura en últimos minutos de la fundición y sobre la temperatura de la cara caliente, se realizaron mediciones de temperatura de la cara fría y la cara caliente del horno tomadas con la pistola infrarroja de la empresa el 27 de setiembre de 2024, como se muestra en la **Tabla 8**. Con respecto a la temperatura de salida de los gases de combustión, no se contaba con un instrumento de medición que midiera de forma precisa este valor, como una termocupla.

Tabla 7. Resumen de las mediciones de las temperaturas superficiales del horno con la pistola infrarroja el 30/08/2024

Tiempo	T_{prom} (°C) Cara fría Paredes
0 min	Inicio
30 min	24.8667
45 min	40.2667
60 min	67.2333
75 min	110.6667
90 min	133.1667
105 min	162.2000
120 min	203.2333
135 min	--
150 min	--
165 min	269.8667
180 min	--
195 min	Fin

Tabla 8. Resumen de las mediciones de las temperaturas superficiales del horno con la pistola infrarroja el 27/09/2024.

Tiempo	T_{prom} (°C) Cara fría Paredes	T_{prom} (°C) Cara fría Tapa	T_{prom} (°C) Cara caliente
0 min	24.0000	24.0000	24.0000
20 min	34.1667	--	--
35 min	59.0000	199.5667	1091.0000
50 min	91.5667	252.2667	1258.6667
65 min	122.9667	232.5667	1240.6667
80 min	156.8667	210.6000	1307.0000
95 min	180.1667	587.0000	1211.0000
110 min	236.0667	382.7000	1269.6667
125 min	268.4333	441.1333	1231.3333
140 min	264.4667	383.0333	1124.3333
155 min	261.8667	433.9667	1060.5667
170 min	274.2333	--	1109.6667
170 min	Fin		
Promedio	164.4833	314.6833	1084.3545

En la **Tabla 8**, se puede observar que la temperatura de la cara fría de las paredes del horno llega a ser de máximo 274.2333 °C a los 170 minutos, y en promedio 164.4833 °C. Además, se observa que la temperatura máxima de la cara fría la tapa es de 587.0000 °C a los 95 minutos, y en promedio estuvo a una temperatura de 314.6833 °C. Dentro horno, la temperatura de la cara caliente fue de 1084.3545 °C en promedio.

La alta temperatura de la cara fría del horno mencionada anteriormente atenta contra la seguridad laboral de los trabajadores. Se considera a una superficie metálica a como un riesgo para la seguridad laboral cuando esta se encuentran a más de 70°C, ya que, si una persona entra en contacto con esta, genera daños en la piel (ASTM, 2020). Si alguno de los operarios y trabajadores de la empresa llegara a tocar la pared del horno a casi 300°C por accidente sin equipo de seguridad, se producirían quemaduras muy graves por la alta temperatura. Por otra parte, la alta temperatura de cara fría aumenta el flujo de calor por radiación que la pared emite al exterior. Esto aumenta la temperatura general del taller y genera que los trabajadores se expongan a altas temperaturas por radiación térmica. El cuerpo humano tiene una temperatura de 37°C, y si esta se eleva a más de este valor, los trabajadores pueden tener consecuencias en su salud, como los efectos del estrés térmico por calor, entre

los cuales se encuentra deshidratación, desmayos y agotamiento (Secretaría de Salud Laboral UGT-Madrid, 2012). Estos síntomas pueden ser peligrosos al momento de manipular el metal fundido y se puede provocar un accidente en el taller.

Por lo mencionado, es de gran importancia colocar algún tipo de recubrimiento al horno, con el fin de reducir significativamente la temperatura de la cara fría, y que esta se encuentra la menos por debajo de los 100°C. Se espera que esto reduzca el riesgo de los trabajadores a quemaduras y a la exposición a temperaturas extremas en el taller, además, esto de ayudar a disminuir las pérdidas de calor de las paredes del horno.

4.1.3. Requerimiento energético actual

Un aspecto importante para considerar es cuánto combustible se necesita para suplir el requerimiento energético para calentar el horno y el crisol, junto con la cantidad de energía para fundir el bronce y que este alcance los 1200°C para la colada.

Se utilizó la **ecuación (6)**, los valores de la **Tabla 2**, de la **Tabla 3** con los valores de temperaturas y calores específicos necesarios, y la **Tabla 5** con las dimensiones del horno. El desarrollo de estos cálculos se encuentra en el **Apéndice 8.3.2**. A continuación, en la **Tabla 9** se muestra un resumen con los resultados de estos cálculos. De la tabla se puede observar que, para el proceso, se necesita un total de energía de 601278.0355 kJ (15.6693 L de aceite quemado o 23.4143 L de gas LPG).

Tabla 9. Requerimiento energético actual del bronce, el horno y el crisol

100 kg de bronce	req.energ _{100kg.bronce} =	69447.11111	kJ
	L _{aceite} =	1.8098	L
	L _{gas.LPG} =	2.7043	L
Calentar horno	Q _{calentar.horno} =	506311.7244	kJ
	L _{aceite} =	13.1945	L
	L _{gas.LPG} =	19.7162	L
Calentar crisol	Q _{calentar.crisol} =	25519.2000	kJ
	L _{aceite} =	0.6650	L
	L _{gas.LPG} =	0.9937	L
Total	Q=	601278.0355	kJ
	L_{aceite}=	15.6693	L
	L_{gas.LPG}=	23.4143	L

4.1.4. Pérdidas de calor actuales

Para realizar los cálculos de las pérdidas de calor, se utilizaron las ecuaciones mencionadas en la **Sección 2.4.1: Pérdidas de calor del horno** del marco teórico.

Inicialmente, se realizaron cálculos teóricos para determinar una temperatura teórica de la cara fría. Esto con la intención de corroborar los cálculos con la medición de la temperatura de la cara fría práctica, medida con las pistolas infrarrojas. Estos cálculos se encuentran en el **Apéndice 8.3.3.1**. De estos cálculos, se obtuvo que la temperatura teórica de las paredes externas del horno es de 326.0228 °C, que difiere de aproximadamente 50°C de las temperaturas medidas con las pistolas infrarrojas. Lo anterior puede deberse a variaciones en la temperatura de la cara caliente supuesta de 1200°C, la cual, como se observa en la **Tabla 8**, varía ligeramente a lo largo de la fundición. También, podría deberse al cambio en la conductividad térmica de los ladrillos y su capacidad de aislar el calor por su uso.

Después de las mediciones de temperatura, se realizan los cálculos de las pérdidas de calor del horno actuales, por las paredes, la tapa y la base del horno. El desarrollo de todas las ecuaciones utilizadas se encuentra en el **Apéndice 8.3.3.2**. A continuación, en la **Tabla 10** se presenta un resumen de los resultados obtenidos en el desarrollo de los cálculos.

Tabla 10. Resumen de resultados de cálculos de pérdidas de calor actuales del horno de fundición

Paredes	$Q_{\text{pérdidas.total.paredes.F=}}$	12.2745	kW
	$L_{\text{aceite=}}$	1.1515	L/h
Base	$Q_{\text{pérdidas.base.F=}}$	13.3068	kW
	$L_{\text{aceite=}}$	1.2484	L/h
Tapa	$Q_{\text{pérdidas.tapa.F=}}$	4.4929	kW
	$L_{\text{aceite=}}$	0.4215	L/h
Total	$Q_{\text{pérdidas=}}$	30.0743	kW
	$L_{\text{aceite=}}$	2.8214	L/h
	$L_{\text{aceite en 3 h=}}$	8.4643	L
	$L_{\text{gasLPG=}}$	4.2160	L/h
	$L_{\text{gasLPG en 3 h=}}$	12.6480	L

En la tabla anterior, se observa el flujo de calor que tienen las paredes del horno actualmente, junto a la cantidad de litros de combustible por hora que estas pérdidas de calor

representan para el proceso. Para simplificar los cálculos anteriores, se calcularon las pérdidas de calor por conducción con las temperaturas superficiales promedio durante las 3 horas del proceso (**Tabla 8**), para obtener pérdidas de calor por conducción promedio.

Se observa que, en total, se tendrían 30.0743 kW en pérdidas de calor a través de las paredes, lo que significa un total de 2.8214 L/h de aceite quemado (8.4643 L de aceite quemado en 3 horas de funcionamiento). En el caso de gas LPG, las pérdidas equivalen a un total de 4.2160 L/h de aceite quemado (12.6480 L de aceite quemado en 3 horas de funcionamiento). Estas pérdidas de calor representan un 22.36% del calor total introducido en el horno.

Por esta razón, es necesario colocar un algún tipo de material aislante, como los recubrimientos de fibra de vidrio o fibra de cerámica del mercado nacional. Esto para reducir el porcentaje de pérdidas y la cantidad de combustible utilizado, además, disminuir los residuos de combustión y los costos del proceso. El recubrimiento podría generar una menor temperatura de la cara fría del horno, para contribuir con la seguridad laboral de la empresa. Esto se puede validar con los cálculos de transferencia de calor mencionados en la **Sección 2.4: Análisis térmico de hornos** del marco teórico.

Otro aspecto importante por considerar son las pérdidas de calor en los gases de combustión. Para esto, se suma el total de calor calculado en las secciones anteriores, y este total se resta a la cantidad de calor que aportan los litros de combustible utilizados actualmente, la cual es de aproximadamente 37.8540 L (1 452 569.0152 kJ) en 3 horas. Este cálculo se encuentra en el **Apéndice 8.3.6.1**. Se obtiene como resultado un total de 526489.0695 kJ que se pierden en los gases de combustión, que equivale a un 36.25% del total de energía utilizada en el proceso y representa un total de 13.7203 litros de aceite quemado del total utilizado. Esta situación puede deberse a una mala relación aire/combustible del sistema de combustión actual, produciendo una combustión no óptima (U.S. Department of Energy et al., 2015). Debido a esto, se considera que es necesario realizar mejoras en el sistema de alimentación de aire y combustible del horno, como un quemador nuevo.

Es importante resalta que no se conoce la eficiencia de combustión del quemador actual, por lo que este resultado de 526489.0695 kJ incluye las pérdidas de calor por los gases de combustión más la energía que se desperdicia por la eficiencia de combustión actual.

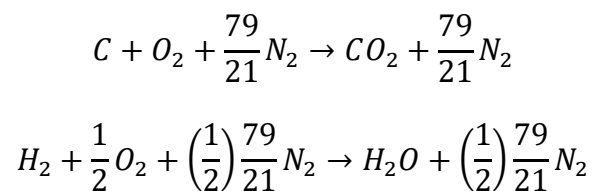
Como no se conoce este valor, no es posible estimar el impacto total que generaría un nuevo quemador, así que se espera que la mejora sea un poco mayor a la calculada al aumentar la eficiencia de combustión del proceso.

4.1.5. Sistema de combustión actual

Como se determinó en la **Sección 4.1.4**, es necesario realizar mejoras en el sistema de combustión. Para corroborar esto, se calculó la cantidad de aire teórico necesaria para obtener una combustión completa. Además, se calculó la proporción de aire/combustible necesaria para la combustión.

4.1.5.1. Resultados de aire teórico en la combustión

Para realizar el cálculo de aire teórico, se utilizaron las siguientes ecuaciones químicas. Como la ficha técnica del aceite quemado utilizado menciona que es un combustible similar al Diesel, se consideró para estos cálculos la composición química del Diesel, el cuál es de 84% C y 14% H₂ (Sarikoç, 2020).



El desarrollo de estos cálculos se encuentra en el **Apéndice 8.3.4**. A continuación, en la **Tabla 11** se muestra un resumen con los resultados de estos cálculos, considerando que actualmente utilizan 37,8540 L en 3 horas.

Tabla 11. Resumen de resultados de cálculos de aire de combustión.

	Teórico	Actual
Aire/combustible	10.9832 m ³ aire/ L _{aceite quemado}	59.4569 m ³ aire/ L _{aceite quemado}
Para 12.6180 L/h actuales	138.5858 m ³ aire/ h	750.2274 m ³ aire/ h

En la empresa, se utiliza actualmente el sistema de alimentación de aire y combustible mostrados en la **Figura 3**. Considerando que el soplador anaranjado tiene una velocidad de trabajo de 370148 m/h y un tubo de 5.08 cm de diámetro, se calcula que este soplador cuenta con un caudal teórico de 750.2274 m³/h, y una relación aire/combustible actual de 59.4569 m³ aire/ L_{aceite quemado}. Asimismo, del cálculo de aire teórico para el aceite quemado, se obtiene un valor de 138.5858 m³ aire/ h y 10.9832 m³ aire/ L_{aceite quemado}. Al comparar los valores teóricos

con los actuales, se observa que este soplador actual no solo está cumpliendo con el requerimiento del aire necesario para la combustión, sino que lo supera en una cantidad muy grande. Esta situación hace que el horno se enfríe por un exceso de aire y pierda eficiencia de combustión, por lo tanto, que se necesite más combustible para el proceso. Además, se genera un mayor caudal de gases de combustión donde se pierde calor (U.S. Department of Energy et al., 2015).



Figura 3. Sistema de entrada de aire y combustible actual.

Sin embargo, en las visitas a la fundición, se observó que este soplador, más el soplador celeste apenas logran cumplir con el requerimiento de aire necesario en el proceso. Esta situación puede deberse a que, por los años, los sopladores han perdido su capacidad de caudal. Además, estos equipos están diseñados para soplar y recoger hojas, o aspirar superficies. No están diseñados para trabajar en un horno de fundición a altas temperaturas durante varias horas seguidas. Lo anterior puede reducir aún más su poder de soplado durante el proceso de fundición. Otra razón para justificar esta situación es que el horno no cuenta con un sistema que mida eficientemente la entrada de combustible. Lo

anterior puede ocasionar que ingrese al sistema una cantidad inadecuada de combustible, haciendo que el volumen de aire difiera del teórico en ciertos momentos de la fundición. Otra situación que puede estar impactando negativamente es la falta de un quemador adecuado en el horno, como se observa en la **Figura 3**. Esto provoca que el combustible no se mezcle adecuadamente con aire y se disminuya la eficiencia del proceso.

Debido a las situaciones mencionadas anteriormente, es necesario cambiar el sistema de combustión actual a uno que cuente con una adecuada mezcla de aire/combustible y con un soplador industrial que esté diseñado para quemadores y para este tipo de aplicaciones para altas temperaturas. Lo anterior se detalla en las siguientes secciones.

4.1.6. Cálculo de la eficiencia térmica actual del horno de fundición

Para calcular la eficiencia actual del horno, se utilizó la **ecuación (8)**. Se consideró que la energía aprovechada por el horno es la energía utilizada para fundir el bronce.

$$\eta = \frac{E_{aprovechada}}{E_{total}} \times 100$$

$$\eta = \frac{69447.1111kJ}{1452569.0152kJ} \times 100$$

$$\eta_{actual} = 4.78\%$$

Como se observa en este cálculo, la eficiencia térmica actual del horno es de 4.78%, el cual es un valor muy bajo. Este valor significa que gran parte de la energía utilizada en el proceso se utiliza para otras cosas que no son fundir el bronce, ya que, como se mencionó en la sección de cálculo de requerimiento energético actual, solo 1.8451 L de combustible son requeridos por el bronce. Para aumentar un poco este valor, se debe trabajar en reducir la cantidad de energía que se pierden en otras partes del horno, como las pérdidas de calor por conducción y por los gases de combustión. Solo se introduce la energía térmica del combustible al proceso, por lo que la eficiencia energética tendría el mismo valor que la eficiencia térmica.

4.2. Recubrimiento

Con la **Tabla 6** se puede observar que el máximo espesor posible para recubrir el horno debe ser de 7 cm, ya que es la dimensión más pequeña entre la pared del horno y la pared de la base cuadrada. Además, es necesario considerar que el recubrimiento debe soportar las condiciones de temperatura del proceso, que en este caso se encuentra entre

269.8667 °C y 274.2333 °C, y la exposición a las llamas. Se realizó la cotización en algunas empresas proveedoras de aislantes, entre las cuales se encuentran Capris, Tecnosagot, Tecnoval, Construplaza, Solcon instalaciones, Prodex, Aislamiento Industrial y Agencias Vibo. A partir de las cotizaciones realizadas, se obtuvieron los aislantes presentados en la **Tabla 12**, junto con el costo y propiedades de cada uno. En el **Anexo 9.1** se encuentran la información de las cotizaciones de los aislantes.

Tabla 12. Opciones de materiales aislantes para recubrir el horno.

Proveedor	Aislamiento	Dimensiones	Conductividad térmica [W/m.K]	Temperatura máxima de trabajo (°C)	Costo
Aislamiento Industrial ¹	Fibra cerámica	5.08 cm espesor x 60 cm ancho x 3.3 m de largo	0.09 (400°C) 0.16 (800°C)	1000	₡ 27 500 + IVA
Aislamiento Industrial ²	Manta mineral	5.08 cm espesor x 60 cm ancho x 5 m largo	0.074 (250°C)	450	₡ 27 500 + IVA
Agencias Vibo ³	Manta de fibra de cerámica	2.54 espesor x 60 cm ancho x 7.62 m largo	0.09 (400°C) 0.16 (800°C)	1100	₡ 37 290

Fuente: ¹(Aislamiento Industrial, 2024b), ²(Aislamiento Industrial, 2024a), ³(Agencias Vibo, 2024).

Se observa que, comparando las dimensiones de los rollos que suministran estas empresas y el costo de cada una, no hay mucha diferencia entre el costo de cada aislante. Todos los rollos de aislamiento cotizados tienen una temperatura máxima de trabajo mayor a la temperatura superficial del horno. Sin embargo, es importante considerar que el horno tiene una pequeña separación entre el horno y la tapa, haciendo que la llama del horno se escape por este lugar. Esto genera que el recubrimiento entre en contacto con la llama, así que es necesario que este resista esta condición. Las mantas de fibra de cerámica resisten estas condiciones, sin embargo, las mantas de fibra mineral se queman con el contacto directo con la llama, por lo que esta no es una buena opción para esta aplicación. Podría considerarse como una buena opción por su baja conductividad térmica si en un futuro se logra sellar efectivamente esta separación del horno y la tapa.

Además, para proteger el recubrimiento, es necesario colocar una capa de metal sobre este. Se consultó con tres empresas una lámina de hierro negro, las cuales se encuentran en la **Tabla 13**.

Tabla 13. Láminas de hierro negro para el recubrimiento

Empresa	Producto	Costo
Construplaza ¹	Lámina hierro negro 3 mm (1/8") x 1.22 x 2.44 metros	€39 000,00
EPA ²	Lámina hierro negro 1.58 mm 122 x 244 cm	€26 950,00
El Lagar ³	Lámina Hierro Negro Antideslizante 3 mm 1.22 x 2.44 m	€43 320,00

Fuente: ¹(Construplaza, 2023), ²(EPA, 2024), ³(El Lagar, 2024).

4.2.1. Ahorro en pérdidas de calor por el recubrimiento

Para determinar el recubrimiento adecuado para el horno y el impacto que este generaría, se calculó cuánto sería el ahorro en las pérdidas de calor y cuál sería la nueva temperatura de la cara fría al colocar los recubrimientos. La conductividad térmica de los dos recubrimientos que no se queman con la llama es de 0.09 W/m.K. Además, estos cálculos también dependen del espesor escogido para el recubrimiento. En los cálculos se van a considerar 2.54 cm y 5.08 cm, los cuales son los espesores de los recubrimientos cotizados. El desarrollo de estos cálculos se encuentra en el **Apéndice 8.3.5**, y en la **Tabla 14** se muestra un resumen de los resultados de estos cálculos.

Tabla 14. Resumen de resultados del análisis térmico teórico del horno con recubrimiento de 2.54 cm y 5.08 cm de espesor

Recubrimiento de 2.54 cm			Recubrimiento de 5.08 cm		
$T_{sup.ext.paredes} =$	144.1773	°C	$T_{sup.ext.paredes} =$	100.7641	°C
$Q_{perd.paredes.F} =$	3.1594	kW	$Q_{perd.paredes.F} =$	1.9373	kW
$L_{aceite/h} =$	0.2964	L/h	$L_{aceite/h} =$	0.1818	L/h
$Q_{perd.paredes.F/ahorrado} =$	9.1152	kW	$Q_{perd.paredes.F/ahorrado} =$	10.3372	kW
$L_{aceite/h ahorrado} =$	0.8551	L/h	$L_{aceite/h ahorrado} =$	0.9698	L/h
$T_{sup.ext.base} =$	162.3629	°C	$T_{sup.ext.base} =$	111.1011	°C
$Q_{perd.base.F} =$	1.5525	kW	$Q_{perd.base.F} =$	0.8702	kW
$L_{aceite/h} =$	0.1456	L/h	$L_{aceite/h} =$	0.0816	L/h
$Q_{perd.base.F/ahorrado} =$	11.7543	kW	$Q_{perd.base.F/ahorrado} =$	12.4366	kW
$L_{aceite/h ahorrado} =$	1.1027	L/h	$L_{aceite/h ahorrado} =$	1.1668	L/h

Tabla 14 (continuación). Resumen de resultados del análisis térmico teórico del horno con recubrimiento de 2.54 cm y 5.08 cm de espesor

T_{sup.ext.tapa}=	152.6960	°C	T_{sup.ext.tapa}=	107.2641	°C
Q_{perd.tapa.F}=	1.1119	kW	Q_{perd.tapa.F}=	0.6497	kW
L_{aceite/h}=	0.1043	L/h	L_{aceite/h}=	0.0609	L/h
Q_{perd.tapa.F/ahorrado}=	3.3810	kW	Q_{perd.tapa.F/ahorrado}=	3.8433	kW
L_{aceite/h ahorrado}=	0.3172	L/h	L_{aceite/h ahorrado}=	0.3606	L/h
Total Q_{perd.F}=	5.8237	kW	Total Q_{perd.F}=	3.4572	kW
Total L_{aceite/h}=	0.5464	L/h	Total L_{aceite/h}=	0.3243	L/h
Total L_{gas/h}=	0.8164	L/h	Total L_{gas/h}=	0.4847	L/h
Total Q_{perd.F/ahorrado}=	24.2506	kW	Total Q_{perd.F/ahorrado}=	26.6171	kW
Total L_{aceite/h ahorrado}=	2.2751	L/h	Total L_{aceite/h ahorrado}=	2.4971	L/h
Total L_{gasLPG/h ahorrado}=	3.3996	L/h	Total L_{gasLPG/h ahorrado}=	3.7314	L/h
Total L_{aceite en 3 h ahorrado}=	6.8253	L	Total L_{aceite en 3 h ahorrado}=	7.4913	L
Total L_{gasLPG en 3 h ahorrado}=	10.1988	L	Total L_{gasLPG en 3 h ahorrado}=	11.1941	L
Ahorro económico=	€3 606,11		Ahorro económico=	€3 958,01	

De la tabla anterior, se observa que ambos recubrimientos logran disminuir significativamente las temperaturas externas del horno. Sin embargo, solo el recubrimiento de 5.08 cm logra disminuir la temperatura de las paredes externas del horno hasta 100.7641°C. Esto contribuye con la seguridad laboral de la empresa al reducir el riesgo de quemaduras graves. La base no está al alcance de los trabajadores durante la fundición, por lo que esto no supone un problema de seguridad laboral, pero debe considerarse el recubrimiento para reducir las pérdidas de calor. En la tapa no se logra que ninguno disminuya la temperatura a menos de 100°C. El cálculo de las temperaturas de la tapa solo contempla las pérdidas de calor y no la exposición a la llama por el agujero, así que se esperaría que, aún con un recubrimiento, la temperatura superficial sea mayor a las teóricas calculadas anteriormente. Al mismo tiempo, se espera que al reducir la temperatura de la cara fría, se disminuya la transferencia de calor por radiación y se disminuya la temperatura general del taller.

Comparando estos valores con las pérdidas de calor del horno sin recubrimiento, se observa que el recubrimiento de 5.08 cm logra disminuir 26.6171 kW, que se traduce en 2.4971 litros de aceite quemado por hora ahorrados. El horno dura 3 horas encendido, lo que

genera un ahorro de 7.4913 litros de aceite quemado en total con el recubrimiento y un ahorro económico de ₡3 958,01. Además, las pérdidas de calor con el recubrimiento representarían un 3.17% del calor total suministrado por el combustible, considerando que no se disminuyen las pérdidas de calor por los gases de combustión con el recubrimiento. En el **Apéndice 8.3.6** se realizó el cálculo de la nueva eficiencia considerando la reducción de las pérdidas de calor a través de las paredes, dando como resultado una nueva eficiencia térmica de **5.90%**. La eficiencia energética del horno también aumenta, ya que se disminuyen las pérdidas de calor del horno y el combustible utilizado, lo genera un uso más eficiente de la energía del proceso.

4.3. Cambio de combustible a gas LPG

Debido a que el aceite quemado es un combustible que genera muchos residuos de combustión, se propone un cambio de combustible en la empresa. El gas LPG es una alternativa de combustible más amigable con el medio ambiente (RECOPE, 2023).

El cambio de aceite quemado a gas LPG trae consigo algunas ventajas. En AvantiGas (AvantiGas, s. f.) se menciona que el gas LPG, en comparación con el aceite, tiene menos sulfuros, tiene una combustión más limpia y emite menos residuos de combustión. Además, se menciona que el uso de gas LPG puede reducir las emisiones de CO₂ hasta un 20% y las emisiones de NO_x de un 30 a 60% (AvantiGas, s. f.). Esta reducción en la cantidad de compuestos contaminantes generados ayudaría a la empresa a reducir su huella ambiental y permitiría tener un aire más limpio dentro del taller. Adicionalmente, ayudaría a cumplir con las regulaciones ambientales de Costa Rica, como el “Reglamento sobre emisión de contaminantes atmosféricos provenientes de calderas y hornos de tipo directo e indirecto” (Presidente de la República y los Ministros de Salud y de Ambiente y Energía, 2022).

Si se implementa un quemador adecuado con mejores sistemas de control de caudal de combustible y aire, se espera reducir el consumo de combustible comparado con lo utilizado en este momento. Lo anterior puede llegar a disminuir los costos del proceso de fundición y la cantidad de residuos de combustión generados. Asimismo, se espera que aumente la eficiencia del horno al reducir las pérdidas de calor por los gases de combustión que actualmente representan aproximadamente el 36.25% de la energía introducida al horno.

4.3.1. Sistema a gas con cilindro estacionario de envasadora

La empresa tiene expectativas de crecer y ofrecer nuevos productos. Sin embargo, como es un escenario deseado en el futuro, no se tiene la certeza del consumo de combustible que puedan llegar a tener. Si la empresa crece en un futuro, es necesario colocar un cilindro estacionario que tenga la capacidad necesaria para suplir el gasto energético de la empresa. Para realizar el cambio de combustible, es necesario contar con una empresa envasadora que instale el cilindro y realice los llenados de este con gas LPG. Para determinar el costo de la implementación de gas en la empresa, se contactó con empresas envasadoras de gas para obtener una cotización de la instalación, mostradas en la **Tabla 15**.

Tabla 15. Opciones de empresas envasadoras de gas en Costa Rica

Envasadoras de gas	Contacto
Blue Flame	2282-8283 / 6366-1534
Petrogas	2573-7212 / 7121-7350
Gas Nacional Zeta	800 938 2427 / 4100-5000

La empresa Blue Flame indicó que, para realizar la cotización de la instalación, era necesaria una visita al sitio para hacer un levantamiento de materiales y dar una correcta cotización. La empresa indica que, para realizar la instalación del cilindro, se debe contar con un consumo mínimo de 200 litros de gas semanales o de 3 a 4 cilindros de 45 kg por semana. Este consumo no se cumple actualmente, pero se espera que, para el momento de considerar la instalación de este cilindro, la empresa haya tenido un alto crecimiento.

La empresa ZETA Gas indicó que realiza instalaciones de tuberías y cilindro, pero que, para poder realizar una visita a la empresa, esta debía tener un consumo mínimo de 4 a 6 cilindros de 45 kg semanales al momento de la visita. Actualmente, este consumo mínimo no se cumple, por lo que esta opción quedó descartada. Se puede considerar en un futuro cuando la empresa crezca.

La empresa Petrogas también indicó que, para realizar la cotización de la instalación, es necesaria una visita para hacer un estudio para analizar que tanque se ocupa y hacer mediciones.

4.3.1.1. Envasadora Blue Flame

La envasadora Blue Flame brindó sus servicios para generar una cotización del proyecto de instalar un cilindro estacionario y la tubería requerida. Blue Flame realizó una visita a la empresa para evaluar la viabilidad de la instalación y los requerimientos necesarios. Con la información brindada por la envasadora se elaboró un croquis donde se visualiza el recorrido de las tuberías, además de las válvulas y reguladores requeridos para utilizar el gas de manera segura. El croquis realizado se encuentra en el **Apéndice 8.5**. La envasadora indicó en la cotización del proyecto, que este tendría un costo de \$5 498.64 (BlueFlame, 2024) (¢2 853 751,53 con un tipo de cambio de compra de ¢516,86 al 28 de setiembre del 2024 según (Banco Central de Costa Rica, 2024)). Esta cotización contempla el costo de la mano de obra y de materiales (tuberías, reguladores, válvulas de control, válvula antisísmica, pintura para la marcación de la tubería y todo lo requerido para la tubería. No se incluye el tanque, ya que este la empresa envasadora lo da en calidad de préstamo, por un depósito de ¢100 000,00. Tampoco se incluye la loza de cemento necesaria ni la malla galvanizada. Por el llenado del tanque, la empresa cobra ¢218,48 por litro de gas.

Para realizar la instalación del cilindro y tuberías, la empresa instaladora de las tuberías y el cilindro debe realizar el trabajo siguiendo lo establecido en el código del gas licuado de petróleo NFPA 58, en el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones del CFIA, y en el Reglamento Nacional de Protección Contra Incendios de Bomberos de Costa Rica.

4.4. Sistema de combustión

Como se mencionó en la **Sección 4.1.5**, es necesario realizar mejoras en el sistema de combustión para poder controlar la relación aire/combustible del proceso para aumentar la eficiencia del sistema.

4.4.1. Sopladores

Para mejorar la entrada de aire al sistema de combustión, es necesario colocar un soplador industrial diseñado para las condiciones del proceso. Si la empresa no desea cambiar el combustible utilizado actualmente en un corto plazo, se puede considerar adquirir un soplador económico y darle mantenimiento a la tubería actual. Sin embargo, no es una solución provechosa si la intención es realizar el cambio de combustible y comprar un

quemador para gas, ya que la mayoría de estos quemadores traen un sistema de alimentación de aire incluido y se desperdiciaría el dinero invertido en el equipo de aire.

4.4.2. Quemadores

El quemador del horno es un punto importante de mejora, ya que este realizará la mezcla de aire/combustible adecuada para la combustión completa, lo que se traduce en una mejora de la eficiencia térmica y energética del horno. Es necesario realizar algunos cálculos para determinar la capacidad del quemador requerido. Anteriormente, se obtuvieron los resultados de todas las pérdidas de calor a través de las paredes del horno. Además, se obtuvo el valor del calor para fundir el bronce y calentar el horno y el crisol. Si se suman las pérdidas de calor del horno, más el calor que se necesita para fundir el bronce, calentar el horno y el crisol en 3 horas, se obtendría la cantidad de calor que el horno necesita por hora.

Asimismo, es necesario considerar las pérdidas de calor en el gas de combustión, las cuales se espera que se reduzcan al cambiar de combustible e implementar un quemador eficiente. Considerando esto, se realizaron cálculos para determinar la cantidad de energía que demanda el horno de fundición por hora, la cuál debe ser suplida por el quemador.

Estos cálculos se encuentran en el **Apéndice 8.3.6** y en la **Tabla 16** se muestra un resumen de los resultados. Como resultado de estos cálculos, y considerando que se espera una reducción del 20% de las pérdidas de calor por los gases de combustión al mejorar el control de la relación de aire/combustible (U.S. Department of Energy et al., 2015), se obtiene como resultado, un nuevo valor de pérdidas de calor por gases de combustión de 421191.2556 kJ (10.9763 L de aceite quemado o 16.4015 L de gas LPG).

Con este cambio, se reduciría un total de 105297.8139 kJ, que representa un ahorro de 2.7441 L de aceite quemado o 4.1004 L de gas LPG. De estos cálculos se obtuvo como resultado un nuevo valor de energía requerida total en el proceso de 1347271.2013 kJ (35.1099 L de aceite quemado o 52.4638 L de gas LPG) para el caso del horno sin recubrir, y un total de 1070798.1984 kJ (27.9050 L de aceite quemado o 41.6977 L de gas LPG) para el caso del horno recubierto.

En el **Apéndice 8.3.6** se realizó el cálculo de la nueva eficiencia considerando la reducción de un 20% de las pérdidas de calor por los gases de combustión mencionada anteriormente. De este cálculo se obtiene como resultado una nueva eficiencia de **5.15%** para el horno sin recubrir y **6.49%** para el horno recubierto.

Si se estima para la duración actual de 3 h, para el horno recubierto, se necesitaría un quemador de 124.7473 kW para el horno sin recubrir y 99.1480 kW para el horno recubierto. Por lo mencionado anteriormente y como se plantea recubrir el horno primero, se considera necesario implementar un quemador que tenga una capacidad de al menos 117 kW.

Tabla 16. Resultados de los cálculos para el quemador nuevo

	Sin recubrimiento	Recubierto 5.08 cm
Combustible usado actual(Q_{total1})=	1452569.0152 kJ	1173555.7460 kJ
$Q_{Pérdidas\ gas.actual+ineficiencia\ del\ quemador}$ =	526489.0695 kJ	526489.0695 kJ
$L_{aceite.quemado}$ =	13.7203 L	13.7203 L
L_{gas} =	20.5019 L	20.5019 L
% $Q_{pérdidas.gases}$ =	36.25%	44.77%
η_{actual} =	4.78%	5.90%
Se espera que el $Q_{pérdidas}$ por los gases se reduzca un 0.2 con el quemador nuevo		
$Q_{Pérdidas\ gas.nuevo}$ =	421191.2556 kJ	421191.2556 kJ
$L_{aceite.quemado}$ =	10.9763 L	10.9763 L
L_{gas} =	16.4015 L	16.4015 L
Combustible usado con quemador (Q_{total2})=	1347271.2013 kJ	1070798.1984 kJ
% $Q_{pérdidas.gases}$ =	31.26%	39.33%
$\eta_{con\ quemador}$ =	5.15%	6.49%
En 3 horas		
Consumo de energía=	124,7473 kW	99.1480 kW
Combustible usado con quemador (Q_{total2})=	1347271.2013 kJ	1070798.1984 kJ
$L_{aceite.quemado}$ =	35.1099 L	27.9050 L
L_{gas} =	52.4638 L	41.6977 L
Ahorro=	105297.8139 kJ	105297.8139 kJ
$L_{aceite.quemado\ ahorrado}$ =	2.7441 L	2.7441 L
$L_{gas\ ahorrado}$ =	4.1004 L	4.1004 L

Con la anterior información, se cotizaron algunos quemadores de gas LPG en algunas empresas recomendadas, las cuales se encuentran en la **Tabla 17**. Las empresas Ceres, Equipos Nieto y Reginsa no ofrecen quemadores para la capacidad requerida. La empresa Grupo Delgado S.A. indicó que venden solo quemadores de gas. La empresa Tecnoequipos mencionó que venden quemadores de gas LPG y Diesel. También se contactó a la empresa mexicana Quemadores Automáticos S.A. para cotizar quemadores duales. Todos los

quemadores cotizados se muestran en la **Tabla 18**, y en el **Anexo 9.1** se encuentran la información de las cotizaciones de los quemadores.

Tabla 17. Empresas contactadas para obtener quemadores

Envasadoras de gas	Contacto
Ceres	+506 8843 6473
Equipos Nieto	+506 2222 6555 (751) (220)
Compañía Delgado	+506 8539 9000
Reginsa	+506 2239 4000 / 8439 4000
Tecnoequipos	+506 8930 1417 / 8830 8182
Quemadores Automáticos S.A.	+52 1 33 3719 0779

Tabla 18. Opciones de quemadores para el sistema de combustión

Proveedor	Quemador	Tipo	Capacidad	Costo
Grupo Delgado S.A. ¹	Quem.Aire Forzado, RIELLO, FS8, 200-400	Gas LPG	58,6510-117,3021 kW	€1 429 450.00
Grupo Delgado S.A. ¹	Quem.Recto Hierro 13 X 60 630kBTU 14lb	Gas LPG	184,7507 kW	€216 282.00
Tecnoequipos ²	Wayne Model HSG 400 Gas Burner	Gas LPG	58,6510-117,3021 kW	€1 800 000.00+IVA
Quemadores Automáticos S.A. ³	Quemador Manual Mixto Modelo 20	Gas LPG y Diesel	Desde 14,6628 hasta 5 millones de kW	MX\$20 880.00 (€560 713,56) + envío
Quemadores Automáticos S.A. ³	Quemador Automático Mixto con Turbina De 20”	Gas LPG y Diesel	Desde 58,6510 hasta 1466,2757 de kW	MX\$83 520.00 (€2 242 854,25) + envío

Fuente: ¹(Grupo Delgado, 2024), ²(Tecnoequipos, 2024), ³(Quemadores Automáticos, 2024).

El “Quem.Aire Forzado, RIELLO, FS8, 200-400” es un quemador para gas LPG. Este quemador es modular, se puede variar su capacidad desde 58,6510-117,3021 kW que tiene un soplador integrado. La empresa indica que es un quemador de aire forzado que introduce aire a presión y con gas a baja presión (3.4473 kPa de presión de gas), alcanzando mucha temperatura y utilizando poco gas. La ventaja de este quemador es que tiene controles de temperatura y tiene una mejor seguridad. La desventaja de este es que tiene un costo muy

elevado y que no tiene una boquilla adecuada para producir la forma de la llama deseada y que no impacte directamente con el crisol.

El “Quem. Recto Hierro 13 X 60 630kBTU 14lb” es un quemador recto que alcanza los 184,7507 kW. Este no utiliza soplador ya que solo utiliza el aire atmosférico que se succiona por el Venturi de este. Este es más sencillo y funciona con gas a alta presión (entre 34.4738 a 103.4210 kPa de presión de gas), lo que genera que el consumo de gas vaya a ser más alto que el quemador anterior. La ventaja de este quemador es que su costo es mucho más bajo que el quemador anterior, la desventaja es que no cuenta con el equipo de seguridad que posee el quemador anterior.

El “Wayne Model HSG 400 Gas Burner” es un quemador que entrega entre 58,6510-117,3021 kW. Tiene un soplador integrado y trabaja a una presión de 3.4473 kPa. La empresa indica que, para colocar este quemador, es necesario construir un “hogar de ladrillo” de 30x30x40 cm para colocar el quemador. La ventaja de este es que trabaja a baja presión y no requiere mucho gas, la desventaja es su alto costo y que se debe construir el hogar de ladrillo porque el quemador tampoco tiene una boquilla adecuada.

El “Quemador Manual Mixto Modelo 20” y “Quemador Automático Mixto con Turbina De 20” son quemadores duales que ofrece la empresa mexicana. Estos quemadores están diseñados para funcionar con gas LPG o gas natural a 68.9476 kPa de presión y con un combustible alternativo o Diesel. Estos quemadores llegan hasta muy altos valores de kW, que suplirían la necesidad actual y cualquier escenario de un futuro crecimiento de la empresa. La ventaja de estos quemadores es que se puede usar a favor cuando el costo de alguno de los dos combustibles suba o baje. La desventaja del automático es que aún más caro que el quemador RIELLO. El quemador manual tiene un costo entre el RIELLO y el quemador recto. Otra desventaja es la suma del costo de importación del quemador. Se realizó la cotización para importación con DHL, con las dimensiones del paquete, que son: largo 70cm, ancho 60cm y alto 60cm, un peso de 30 kg y considerando que la empresa se encuentra en Guadalajara, Jalisco, México. DHL realizó la cotización del envío, e indicó que el costo del flete sería de \$326 004. Como el quemador tiene un costo de más de \$1000, este sería retenido en aduanas, que tiene un costo de \$43 000, más los impuestos que sería un aproximado de \$102 000 (varía de acuerdo con la partida arancelaria). Adicionalmente, se

cobra ¢21 000 de bodegaje (que depende de los días de almacenaje y peso) y ¢5000 de IVA, lo que daría un total de ¢497 004,00 para la importación más el costo del quemador.

4.5. Plan de mejora

A continuación, se encuentra el plan de mejora desarrollado para la empresa “Casa Fage”, que tiene como fin aumentar la eficiencia de su horno de fundición y reducir su generación de residuos de combustión.

Debido al costo total del proyecto, se recomienda que este se realice por etapas de acuerdo con la disponibilidad económica de la empresa. Las etapas del plan de mejora son el recubrimiento del horno, la adquisición de un quemador para gas LPG y un cambio de combustible a gas.

4.5.1. Recubrimiento

La primera etapa del plan de mejora es el recubrimiento, esto debido a su bajo costo y alta urgencia para mejorar la seguridad laboral de la empresa.

Considerando lo mencionado en la **Sección 4.2**, se recomienda colocar el recubrimiento de fibra de cerámica de 5.08 cm de espesor y 0.09 W/m.°C, de 60 cm ancho x 3.3 m de largo. Este rollo alcanza para obtener una vuelta de recubrimiento en las paredes del horno. Para recubrir el horno se necesitan de al menos 2 rollos de recubrimiento, uno de estos para recubrir las paredes y aproximadamente 85 cm del otro rollo para recubrir la base. Se recomienda realizar una capa de recubrimiento para la tapa, donde se necesitarían 82 cm del segundo rollo, y debido a que el ancho del rollo es de 60 cm, utilizar el sobrante de ambos rollos para rellenar los espacios restantes de la base y la tapa. Además, es necesario recubrir la manta de fibra de cerámica con una lámina de hierro negro para asegurar la integridad de la fibra de cerámica. Es deseable disminuir aún más la temperatura superficial por la seguridad laboral de los trabajadores y que alcance una temperatura menor a 70°C, por lo que debe considerarse la opción de colocar una o dos capas extra de recubrimiento en las paredes del horno.



Figura 4. Recubrimiento elegido. Fuente: (Aislamiento Industrial, 2024b)

4.5.2. Cambio de combustible a gas LPG

Considerando lo mencionado en la **Sección 4.3**, es preferible realizar un cambio de combustible a gas LPG para reducir las emisiones de residuos de combustión que genera el horno, al ser un combustible más limpio que el aceite quemado. Se espera que al cambiar el combustible utilizado por la empresa, se mejore la calidad de aire para los trabajadores, y que se reduzca la huella ambiental de la empresa.

Para el sistema a gas, previendo el crecimiento de la empresa, se recomienda realizar la instalación de las tuberías con la empresa envasadora, para asegurar que estas tengan la presión de trabajo correcta que requiere el quemador. En el **Apéndice 8.5** se presenta el croquis de las tuberías requeridas para un cilindro estacionario de 454 L de gas LPG, diseñado utilizando la información proporcionada por la empresa Blue Flame y la normativa para gas LPG mencionada en el marco teórico.

En años anteriores, la empresa realizó algunas pruebas con cilindros de gas y un quemador construido por ellos mismos, sin embargo, en estas pruebas el cilindro de 45 kg utilizado terminaba congelándose después de 40 min. Esto puede deberse a que la presión de los tubos y el quemador que fabricaron no era la adecuada. Una posible solución temporal a este problema es utilizar dos cilindros de 45 kg en serie con el quemador recomendado. Con esta propuesta, se espera que el cilindro no se congele durante el proceso, y es una solución económica que puede ser utilizada antes del crecimiento de la empresa mientras no se cuente con el consumo de gas solicitado por las empresas envasadoras.

4.5.3. Sistema de combustión

Para aumentar la eficiencia del proceso y reducir costos, es oportuno instalar un quemador eficiente para controlar la relación aire/combustible del proceso. Se recomienda instalar el quemador manual mixto de la empresa Quemadores Automáticos. Este quemador es mixto, lo que se puede aprovechar a favor de la empresa en los momentos en que el costo de alguno de los dos combustibles suba y se quieran disminuir los costos del proceso. Además, este quemador tiene una alta capacidad para suplir la cantidad de energía actual que necesita el proceso, y para suplir cualquier escenario de crecimiento de producción de la empresa. Este quemador, al ser mixto, puede ser adquirido antes de realizar la alta inversión para colocar las tuberías de gas con la envasadora. Cuando la tubería de gas se instale, es necesario que tenga todas las válvulas de seguridad necesarias para el manejo de gas LPG (sensores de fuga, válvulas reguladoras de presión, entre otras), y que la tubería tenga 68.9476 kPa de presión de gas.



Figura 5. Quemador elegido. Fuente: (Quemadores Automáticos, 2024)

Como una opción económica para la situación actual de la empresa, se propone instalar el quemador recto de hierro que alcanza hasta 184,7507 kW. Este quemador entrega la cantidad de energía que requiere el horno y tiene un costo más accesible que el resto de los quemadores. Para utilizar este quemador, primero se debe realizar la etapa la instalación de las tuberías. Además, es necesario que la tubería de gas tenga todas las válvulas de seguridad necesarias para el manejo de gas LPG y que la tubería tenga una presión de gas de 34.4738 a 103.421 kPa.



Figura 6. Quemador económico. Fuente: (Grupo Delgado, 2024)

4.5.4. Recomendación de procedimiento

Actualmente, en el momento de apagado del horno, se cierra la llave de combustible, para no gastarlo innecesariamente, y también se apaga el soplador. Cuando se apaga el soplador, se acaba el oxígeno para la combustión y, si todavía hay combustible presente, ocurre una combustión incompleta, generando nubes de humo negras con hollín, como se observa en la **Figura 7**. Esta situación puede ser perjudicial para la salud de las personas que deben quedarse a la par del horno mientras se termina el llenado de los moldes. Por esta razón, se recomienda que se apaguen los sopladores de los hornos hasta que se termine de verter el bronce en los moldes y que los trabajadores no se encuentren en la zona de trabajo.



Figura 7. Gases de combustión en el momento de apagar el horno

4.5.5. Resumen de los resultados del proyecto

En la **Tabla 19** se muestra la cantidad de gas LPG para realizar el proceso de la fundición, en los casos:

1. Situación actual sin recubrimiento y sin quemador nuevo.
2. Sin recubrimiento y con quemador nuevo.
3. Con recubrimiento y sin quemador nuevo.
4. Con recubrimiento y con quemador nuevo.

Los cálculos para obtener estos valores se encuentran en el **Apéndice 8.3**. En la tabla se observa un resumen de los resultados de este proyecto. Se muestra la cantidad de gas necesaria para fundir el bronce, calentar el horno y el crisol, y las pérdidas de calor por las paredes y por los gases de combustión. Además, se encuentra el valor total de litros de gas LPG requeridos para 3 horas de fundición, el costo que tendría el gas en total, el ahorro económico con respecto a los ¢20 000 actuales que cuestan los 37.8540 L de aceite quemado, el valor de la eficiencia del horno en cada caso y el porcentaje de ahorro en el combustible utilizado. Como se observa en esta tabla, si se implementan las recomendaciones de este plan de mejora, se estaría reduciendo un 26.28% del total de combustible utilizado actualmente, lo que genera ahorros económicos en el proceso de fundición (¢4 459,93) y una eficiencia de 6.49%.

Tabla 19. Cantidad necesaria de gas LPG

	Caso 1. Actual		Caso 2. Quemador		Caso 3. Recubrimiento		Caso 4. Quemador y Recubrimiento	
	Cantidad de gas LPG		Cantidad de gas LPG		Cantidad de gas LPG		Cantidad de gas LPG	
Fundir el bronce	2.7043	L	2.7043	L	2.7043	L	2.7043	L
Calentar el horno	19.7162	L	19.7162	L	20.1442	L	20.1442	L
Calentar el crisol	0.9937	L	0.9937	L	0.9937	L	0.9937	L
Q _{perd} por conducción	4.2160	L/h	4.2160	L/h	0.4847	L/h	0.4847	L/h
Q _{perd} por los gases	20.5019	L	16.4015	L	20.5019	L	16.4015	L
Total	56.5642	L	52.4638	L	45.7981	L	41.6977	L
Costo	¢21 080,55		¢19 552,41		¢17 068,21		¢15 540,07	
Ahorro con respecto a la situación actual	-¢1 080,55		¢447,59		¢2 931,79		¢4 459,93	
Eficiencia del horno	4.78%		5.15%		5.90%		6.49%	
Aumento			0.37%		1.12%		1.70%	
%Ahorro			7.25%		19.03%		26.28%	

4.5.6. Resumen económico del plan de mejora

En la **Tabla 20** se encuentra un resumen económico del plan de mejora, con los costos de cada etapa, junto con los beneficios económicos y las limitaciones que tiene cada una. En la tabla se observa que las mejoras impactan positivamente en los costos del proceso, ya que se logra ahorrar 26.28% del combustible. El ahorro económico total que generan las mejoras es de ₡4 459,93. Contemplando este valor, se necesitarían aproximadamente 913 fundiciones para recuperar la inversión inicial mostrada en la tabla, y unas cuantas fundiciones más para recuperar la inversión de la mano de obra y la loza de cemento.

Tabla 20. Tabla resumen económico del plan de mejora

Etapa del plan de mejora	Costo	Beneficios	Limitaciones
Recubrir el horno	₡94 000,00 + IVA	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce las pérdidas de calor por conducción de las paredes. • Reduce la cantidad de combustible a utilizar, lo que disminuye el costo del proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> • El recubrimiento tiene una vida útil, por lo que deben realizarse mantenimiento para mantener la integridad de este. • Deben considerarse los gastos de mano de obra de colocar el recubrimiento.
Cambio de combustible	₡2 953 751,53	<ul style="list-style-type: none"> • El precio del gas LPG es un poco más bajo que el precio del aceite quemado, pero por el poder calórico de este, no hay mucha diferencia económica entre cada combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> • Para realizar un cambio en el combustible es necesario hacer una gran inversión para las tuberías necesarias y para el quemador adecuado. • Deben considerarse los gastos de mano de obra de colocar la loza de cemento.
Adición de quemador	₡1 057 717,56	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce las pérdidas de calor por los gases de combustión. • Aumenta la eficiencia de combustión del proceso. • Reduce la cantidad de combustible a utilizar, lo que disminuye el costo del proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de una alta inversión para adquirir el equipo.
Total	₡4 105 469,09	Ahorro	
Recuperación de la inversión	920.52 fundiciones	₡4 459,93	

4.5.7. Resumen ambiental del plan de mejora

En la **Tabla 21** se muestran los beneficios ambientales y las limitaciones de cada etapa del plan de mejora. Se observa que las mejoras tienen un alto impacto en la cantidad de residuos generados en el proceso del taller, debido a la reducción de la cantidad de combustible utilizado en el proceso, y al cambio de combustible a uno más limpio.

Tabla 21. Tabla resumen ambiental del plan de mejora

Etapa del plan de mejora	Beneficios	Limitaciones
Recubrir el horno	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce la cantidad de combustible que se necesita quemar, lo que disminuye la cantidad residuos de combustión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se reducen pero no se eliminan los gases de combustión que aún generan contaminación.
Cambio de combustible	<ul style="list-style-type: none"> • El gas LPG, al ser un combustible más limpio que el aceite quemado, reduce las emisiones de residuos de combustión. 	<ul style="list-style-type: none"> Se reducen pero no se eliminan los gases de combustión que aún generan contaminación.
Adición de quemador	<ul style="list-style-type: none"> • Al aumentar el control de la relación entre el aire y combustible, se tiene una combustión más cercana a la completa, además, el quemador aumentaría la eficiencia de combustión, por lo que se necesitaría menos combustible para generar la misma cantidad de energía, por lo que se generan menos residuos de combustión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si se coloca un quemador dual se seguiría utilizando aceite quemado, pero no tan seguido como se utiliza actualmente, solo en caso de que se requiera disminuir los costos del proceso o no disponibilidad de gas GLP.

4.5.8. Resumen de seguridad laboral del plan de mejora

En la **Tabla 22** se muestran los beneficios en la seguridad laboral y las limitaciones de cada etapa del plan de mejora. Como se mencionó anteriormente, al usar menos combustible y al cambio de combustible a gas LPG, se reduce la cantidad de residuos generados en el proceso, por lo tanto, se acorta la cantidad de residuos presentes en el taller durante la fundición. Igualmente, un aspecto importante es la reducción de la temperatura superficial del horno, que disminuye el riesgo a quemaduras, a la exposición a altas

temperaturas, y también se reduce un poco la temperatura general dentro del taller, lo que hace que sea un ambiente donde sea más cómodo trabajar.

Tabla 22. Tabla resumen seguridad laboral del plan de mejora

Etapas del plan de mejora	Beneficios	Limitaciones
Recubrir el horno	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce el riesgo laboral por la exposición a altas temperaturas. • Reduce la exposición de los trabajadores a los residuos tóxicos que se generan en el proceso por la reducción en la cantidad de combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesita de varias capas de fibra de cerámica para disminuir aún más la temperatura superficial del horno.
Cambio de combustible	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce la exposición de los trabajadores a los residuos tóxicos que se generan en el proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> • No elimina completamente la exposición a gases de combustión.
Adición de quemador	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce la exposición de los trabajadores a los residuos tóxicos que se generan en el proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> • No elimina completamente la exposición a gases de combustión.

5. Recomendaciones

Debido a la limitación de tiempo del proyecto y equipo de medición, no se pudo abarcar el desarrollo de otros aspectos relevantes para la mejora de la empresa, por lo que estas se dejan dentro de las recomendaciones de este proyecto.

Para determinar de manera más precisa los impactos del plan de mejora con el análisis térmico y energético del horno, se recomienda calcular la eficiencia de combustión actual. Primero, se debe medir la temperatura de los gases de combustión con una termocupla y con esto, determinar cuánta energía se pierde en los gases de combustión. Seguidamente, determinar la cantidad de combustible que no está quemándose en el quemador y la eficiencia de combustión del quemador actual. Con esto, se puede determinar el ahorro de combustible generado por el aumento de la eficiencia de combustión al colocar un quemador.

Otra solución para la situación de la empresa es implementar un intercambiador de calor para aprovechar la energía que se pierde en los gases de combustión. Esto porque es una cantidad considerable de energía que simplemente se va hacia el medio ambiente y que no se aprovecha. El intercambiador de calor puede utilizarse para recuperar esta energía y calentar el aire de combustión, para introducirla de nuevo al proceso y obtener una combustión más eficiente. También se puede utilizar la energía para otros procesos de la empresa no necesariamente relacionados al horno de fundición.

El extractor es otro punto de mejora. Actualmente se cuenta con un extractor que tiene poca capacidad de extracción. Se recomienda realizarle mejoras para reducir los residuos de combustión dentro del taller y mejorar la calidad del aire de trabajo. Se sugiere realizar un cambio de forma en la campana del extractor para que este dirija mejor el flujo de gases de combustión a los ductos. Además, realizar mantenimientos periódicos al ventilador para incrementar su vida útil y mantener su poder de extracción. Si el ventilador está dañado, se recomienda realizar la inversión para la compra de uno nuevo. Se recomienda cambiar el ducto de salida a un ducto vertical que permita el movimiento natural de un gas caliente de ir hacia arriba. Además, para cumplir con la ley se aconseja que el ducto se encuentre algunos metros por encima del techo más alto del taller.

6. Conclusiones

Gracias a todas las mediciones y análisis térmicos, se determinó que el sistema de combustión actual no es óptimo, generando desperdicios de combustible y aumentando los residuos de combustión. Adicionalmente, existe un riesgo laboral muy alto por la temperatura de la cara fría del horno, que es de 274.2333°C en las paredes y 587°C en la tapa. Se logró determinar que la eficiencia actual del horno de fundición es de 4.78%.

Se propuso la adición de un recubrimiento de fibra de cerámica de 2" de espesor al horno. Esto reduciría la temperatura de la cara fría de las paredes a 100.7641°C y de la tapa a 107.2641°C , aproximadamente, que disminuiría la cantidad de combustible necesario en un 19.03%. Esta mejora aumentaría la eficiencia del horno a 5.90%. Además, se propuso un cambio de combustible de aceite quemado a gas, lo que generaría una reducción teórica de un 20% en las emisiones de CO_2 y un 30% de las emisiones de NO_x .

Por último, se propuso la adquisición de un quemador mixto manual para tener un mejor control en la relación aire/combustible y que tenga una mejor cámara de mezclado que el quemador artesanal actual. Con esto se pretende mejorar la eficiencia de combustión actual y reducir la cantidad de calor que se pierde en los gases de combustión. Con esta mejora, se espera reducir un 7.25% la cantidad de combustible utilizado actualmente. También, se aumentaría la eficiencia del horno a 5.15%. Este quemador, al ser dual, sería útil para la empresa en momentos de aumento en el precio del gas, donde se podría utilizar como alternativa aceite quemado en el proceso.

La colocación que un quemador y un recubrimiento juntas generan un ahorro del 26.28% en la cantidad de combustible utilizado, y aumenta la eficiencia térmica del horno a 6.49%. La reducción del combustible produce un uso más eficiente de la energía, aumentando la eficiencia energética del horno. Debido a la limitación en la medición de la temperatura de los gases de combustión, no se logró determinar la eficiencia de combustión actual, así que se espera que, al colocar un quemador eficiente y la mejora de las condiciones actuales, los valores del ahorro en el combustible y el aumento de la eficiencia térmica y energética del horno sean mayores a los valores proyectados este proyecto.

La reducción de la cantidad de combustible utilizado en el proceso, generada por las soluciones del recubrimiento y el quemador, disminuirían la cantidad de combustible necesario en el proceso, debido a que se quema una menor cantidad de combustible. Las tres

soluciones propuestas lograrían reducir tanto los costos del proceso, como el riesgo laboral por las altas temperaturas y la gran cantidad de contaminantes generados, contribuyendo a las metas ambientales de la empresa, como a la seguridad de los empleados.

7. Bibliografía

Agencias Vibo. (2024). Manta de Fibra de Cerámica. Agencias Vibo.

Aislamiento Industrial. (2024a). Lana o manta mineral. Aislamiento Industrial.

<https://aislamientoindustrial.com/lana-o-manta-mineral/>

Aislamiento Industrial. (2024b). Manta de fibra cerámica. Aislamiento Industrial.

<https://aislamientoindustrial.com/fibra-ceramica/>

Aislantes SH S.R.L. (2018). Materiales Aislantes: Fibra de Cerámica. aislantessh.com.ar.

<https://www.aislantessh.com.ar/fibra-de-ceramica/#:~:text=Calor%20espec%C3%ADfico%20a%201100%C2%BAC%201130%20J%2Fkg%20K>

American Elements. (2024). Silicon Carbide Crucible. americanelements.com.

<https://www.americanelements.com/silicon-carbide-crucible-409-21-2>

ARESEP. (2024). Tarifas Vigentes Gas. aresep.go.cr. <https://aresep.go.cr/gas/tarifas/>

Aslan Reşitoğlu, İ. (2020). Chapter 8. NO_x Pollutants from Diesel Vehicles and Trends in the Control Technologies. En Diesel and Gasoline Engines. IntechOpen.

<https://doi.org/10.5772/intechopen.81112>

ASTM. (2020). ASTM C1055-20. Standard Guide for Heated System Surface Conditions that Produce Contact Burn Injuries. ASTM American Society for Testing and Materials. <https://compass.astm.org/document/?contentcode=ASTM%7CC1055-20%7Cen-US>

ATLAS Metal Sales. (s. f.). Silicon Bronze Ingot CDA 873 - Everdur. ATLAS Metal Sales.

Recuperado 23 de agosto de 2024, de <https://atlasmetal.com/silicon-bronze-everdur.php>

AvantiGas. (s. f.). Oil Conversions Making the switch to LPG simple and easy.

[avantigas.com](https://www.avantigas.com). Recuperado 25 de octubre de 2024, de <https://www.avantigas.com/AvantiGas/files/1c/1cebaaf8-2f56-4ed4-bc11-605907d5b4f7.pdf>

AZO Materials. (2024). Properties and Applications of Bronze Alloys. AZO Materials.

<https://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=62>

Banco Central de Costa Rica. (2024). Tipo cambio de compra y de venta del dólar de los Estados Unidos de América. Banco Central de Costa Rica.

<https://gee.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Cuadros/frmVerCatCuadro.aspx?idioma=1&CodCuadro=%20400>

Baukal, C. E. (2003). Industrial Burners Handbook. Industrial Combustion Basics. CRC

Press. <https://www.daboosanat.com/wp-content/uploads/2019/04/%D9%87%D9%86%D8%AF%D8%A8%D9%88%DA%A9-%D9%85%D8%B4%D8%B9%D9%84-%D9%87%D8%A7%DB%8C-%D8%B5%D9%86%D8%B9%D8%AA%DB%8C.pdf>

Beeley, P. (2001). Foundry Technology (2.a ed.). Butterworth-Heinemann.

Bennett, J. P., Kwong, K.-S., Oprea, G., Rigaud, M., & Winder, S. M. (2005). Performance of Refractories in Severe Environments. ASM International, 13B, 547-564.

<https://doi.org/10.31399/asm.hb.v13b.a0003841>

BlueFlame. (2024). Cotización BlueFlame. En BlueFlame.

Bomberos Costa Rica Unidad de Ingeniería. (2023). Reglamento Nacional de Protección Contra Incendios. <https://www.bomberos.go.cr/wp-content/uploads/2023/03/RNPCI-2023.pdf>

Capello, E. (1974). Tecnología de la Fundición (2.a ed.). Editorial Gustavo Gili, S.A.

Casa Fage. (2024). Projects - Casa Fage. <https://www.casafage.com/en/pages/proyectos>

Çengel, Y. A. (2007). Transferencia de Calor y Masa: Un enfoque práctico (3.a ed.). McGraw-Hill.

Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). Termodinámica (7.a ed.). McGraw-Hill.

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2017). Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones (Edición 2017). Sistema Costarricense de Información Jurídica.
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=83561&nValor3=107558&strTipM=TC

Construplaza. (2023). Lamina hierro negro 3 mm (1/8") x 1.22 x 2.44 metros. Construplaza.
<https://www.construplaza.com/Materiales/Aceros/L%C3%A1minas-de-Hierro/Lamina-hierro-negro-3-mm-18-x-122-x-244-metros/>

Dreher, L. A. (2010). The art and craft of casting: A comparative study of ancient Greek and Benin sculpture as compared to Brancusi. California State University Dominguez Hills.

El Lagar. (2024). Lamina Hierro Negro Antideslizante 3 mm 1.22X2.44 m. El Lagar.

- Elehinafe, F. B., Aondoakaa, E. A., Akinyemi, A. F., Agboola, O., & Okedere, O. B. (2024). Separation processes for the treatment of industrial flue gases – Effective methods for global industrial air pollution control. *Heliyon*, 10(11), e32428. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32428>
- Entwistle, J. (2007). *Metal casting: The fire of art and industry* [West Virginia University]. <https://www.proquest.com/docview/304798741/fulltextPDF/55CE82D75DFB41FAPQ/1?accountid=27651&sourcetype=Dissertations%20&%20Theses#>
- EPA. (2024). Lámina hierro negro 1,58 mm 122 x 244 cm. EPA. https://cr.epaenlinea.com/lamina-hierro-negro-1-58-mm-122-x-244-cm.html?srsltid=AfmBOorzRjlXa6aBR5Br495tctZeZD-rKrDJxaLB841s_ASgljXJi5GG
- Gauthier, M. M. (Ed.). (1995). *Traditional Applications for Ceramics*. En *Engineered Materials Handbook Desk Edition* (pp. 709-731). ASM International. <https://doi.org/10.31399/asm.hb.emde.a0003051>
- Grupo Delgado. (2024). *Cotización quemadores*.
- Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). (s. f.). *Buenas prácticas de eficiencia energética para Ventilación Industrial*. En Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).
- MatWeb. (s. f.). *Overview of materials for Cast Iron*. MatWeb. Recuperado 25 de agosto de 2024, de <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=6291a24572754cae94ff365ed99b96f9>
- METALUB. (2023). *MetaVGO 120*. www.metalub.net.

METALUB. (2024). Productos Metalub. METALUB. <https://metalub.net/es/productos>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Manual técnico para el manejo de Aceites Lubricantes Usados de origen automotor e industrial. En Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Manual-Aceites-Usados-Min-Ambiente-2014.pdf>

National Fire Protection Association (NFPA). (2024). NFPA 58 Liquefied Petroleum Gas Code. National Fire Protection Association (NFPA). <https://link.nfpa.org/free-access/publications/58/2024>

Oquendo Acevedo, J. H., & Ramírez Chica, O. D. (2017). Diseño de un sistema de recuperación de calor de los gases de combustión para la empresa Lavaozono S.A.S [Instituto Tecnológico Metropolitano]. <https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/72/OquendoAcevedoJhonHenry2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Presidente de la República y los Ministros de Salud y de Ambiente y Energía. (2022). N° 43184-S-MINAE Reglamento sobre emisión de contaminantes atmosféricos provenientes de calderas y hornos de tipo directo e indirecto. En Sistema Costarricense de Información Jurídica. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=96890&nValor3=130030&strTipM=TC

Prucha, T. E., Twarog, D., & Monroe, R. W. (2008). History and Trends of Metal Casting. En Casting (pp. 3-15). ASM International. <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v15.a0005186>

Quemadores Automáticos. (2024). Cotización quemador manual y automático mixtos.

RECOPE. (2015). Estadística de especificaciones LPG . Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE). <https://www.recope.go.cr/wp-content/uploads/2013/07/Estadistica-de-Especificaciones-LPG.xlsx>

RECOPE. (2021, abril 16). Poder calórico. Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE). <https://www.recope.go.cr/productos/calidad-y-seguridad-de-productos/poder-calorico/>

RECOPE. (2023, febrero 7). Gas LP. Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE). <https://www.recope.go.cr/productos/gas-lp/>

Sarıkoç, S. (2020). Chapter 2. Fuels of the Diesel-Gasoline Engines and Their Properties. En Diesel and Gasoline Engines. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.89044>

Secretaría de Salud Laboral UGT-Madrid. (2012). TEMPERATURAS EXTREMAS. Unión General de Trabajadores de Madrid. <https://implementandosgi.com/wp-content/uploads/2018/08/CUADERNILLO-TEMPERATURAS-EXTREMAS.pdf>

S&P Sistemas de Ventilación SLU. (2018, septiembre 11). Extractores industriales: ventilación para una adecuada salubridad del aire. S&P Sistemas de Ventilación SLU. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/extractores-industriales/>

SRC – Sistemas de regulación y control. (s. f.). Tablas Emisividad para infrarrojos. En srcsl.com. Recuperado 23 de agosto de 2024, de https://srcsl.com/catalogoPDFs/AreaTecnica/TABLAS_EMISIVIDAD_SENSORES_INFRRARROJOS.PDF

Tecnoequipos. (2024). Cotización Quemador. En Tecnoequipos.

Upadhyaya, G. S., & Dube, R. K. (1977). Problems in Metallurgical Thermodynamics and Kinetics (M. Sc. D.W. Hopkins, Ed.; 1.a ed., Vol. 25). Pergamon Press.

Uribe Silva, F. (2004). Optimización de la combustión de un horno de llama invertida con el diseño de un sistema de control [Universidad de los Andes].

<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/f103dd4e-1aa7-47f5-ba86-30c59428bcc4/content>

U.S. Department of Energy, Industrial Technologies Program, & Industrial Heating Equipment Association. (2015). Improving Process Heating System Performance: A Sourcebook for Industry (3.a ed.). U.S. Department of Energy.

https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/04/f30/Improving%20Process%20Heating%20System%20Performance%20A%20Sourcebook%20for%20Industry%20Third%20Edition_0.pdf

Vulcano Ladrillos Refractarios. (s. f.). Ladrillo Vulcano SK-32. En Refractarios La Uruca.

8. Apéndices

8.1. Mediciones de las dimensiones del horno

En las siguientes tablas se muestran los datos de las mediciones de las dimensiones del horno de fundición

Tabla 23. Dimensiones del horno de fundición

	1	2	3	prom
D _{ext.f}	83,5	82,3	82,5	82,7667
D _{int.f}	55,7	57,2	58,0	56,9667
H _{ext.f}	52,3	53,0	53,2	52,8333
H _{int.f}	47,0	47,0	47,0	47,0000
e _f	15,1	13,1	12,5	13,5667

Tabla 24. Dimensiones de la tapa del horno de fundición

	1	2	3	prom
D _{ext.t}	81,0	82,0	81,0	81,3333
D _{int.t}	35,0	34,7	35,1	34,9333
H _{ext.t}	17,3	17,5	18,1	17,6333
H _{int.t}	12,0	12,5	12,3	12,2667

Tabla 25. Dimensiones de la base cuadrada del horno de fundición

	1	2	3	prom
A	100,5	100,5	100,5	100,5000
B	100,3	100,3	100,3	100,3000
C	100,5	100,5	100,5	100,5000
D	100,5	100,5	100,5	100,5000
a	7,8	7,7	7,7	7,7333
b	9,1	9,0	9,0	9,0333
c	7,8	7,7	7,7	7,7333
d	9,0	8,9	9,0	8,9667
Altura	15,4	15,6	15,5	15,5000

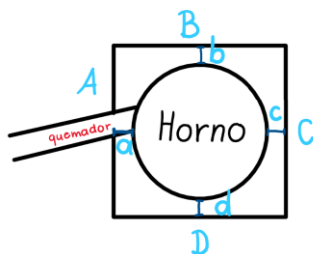


Figura 8. Diagrama para la medición de las dimensiones de la base cuadrada del horno

Tabla 26. Dimensiones de los ladrillos refractarios

Ladrillos refractarios (cm)				
	1	2	3	prom
Altura=	6,3	6,2	6,3	6,2667

Tabla 27. Dimensiones de la pared de hierro del horno

Pared de hierro (cm)				
	1	2	3	prom
e=	0,3	0,3	0,3	0,3000

8.2. Mediciones de las temperaturas del horno

En las siguientes tablas se muestran los datos de las mediciones de las temperaturas del horno de fundición

Tabla 28. Mediciones de la temperatura de la cara fría del horno con la pistola infrarroja

Fluke 62 MAX+ el 30/08/2024

Hora	1	2	3	prom
08:00	Inicio	--	--	--
08:30	24,7	24,8	25,1	24,8667
08:45	36,8	41,0	43,0	40,2667
09:00	66,8	68,9	66,0	67,2333
09:15	96,6	111,3	124,1	110,6667
09:30	121,1	132,3	146,1	133,1667
09:45	140,5	169,8	176,3	162,2000
10:00	201,5	189,6	218,6	203,2333
10:15	--	--	--	--
10:30	--	--	--	--
10:45	264,6	282,4	262,6	269,8667
11:00	--	--	--	--
11:15	Fin	Comienzo de llenado de moldes		

Tabla 29. Mediciones de la temperatura de la cara fría del horno con la pistola infrarroja
BTMETER BT-1500C el 27/09/2024

Hora	1	2	3	prom
08:00	Inicio	--	--	--
08:20	30,4	37,8	34,3	34,1667
08:35	52,5	64,9	59,6	59,0000
08:50	88,5	96,4	89,8	91,5667
09:05	116,2	127,7	125,0	122,9667
09:20	132,8	150,4	187,4	156,8667
09:35	152,4	186,5	201,6	180,1667
09:50	215,4	250,8	242,0	236,0667
10:05	268,4	265,3	271,6	268,4333
10:20	280,9	275,0	237,5	264,4667
10:35	255,7	290,4	239,5	261,8667
10:45	271,7	279,3	271,7	274,2333
10:45	Fin	Comienzo de llenado de moldes		

Tabla 30. Mediciones de la temperatura de la cara fría de la tapa con la pistola infrarroja
BTMETER BT-1500C el 27/09/2024

Hora	1	2	3	prom
08:00	Inicio	--	--	--
08:20	--	--	--	--
08:35	231,5	167,6	199,6	199,5667
08:50	193,5	357,7	205,6	252,2667
09:05	226,4	252,4	218,9	232,5667
09:20	259,8	184,8	187,2	210,6000
09:35	586,3	588,4	586,3	587,0000
09:50	328,9	454,2	365,0	382,7000
10:05	423,9	362,1	537,4	441,1333
10:20	282,4	450,9	415,8	383,0333
10:35	437,8	437,8	426,3	433,9667
10:45	--	--	--	--
10:45	Fin	Comienzo de llenado de moldes		

Tabla 31. Mediciones de la temperatura de la cara caliente del horno con la pistola infrarroja BTMETER BT-1500C el 27/09/2024

Hora	1	2	3	prom
08:00	--	--	--	--
08:20	--	--	--	--
08:35	1070,0	1100,0	1103,0	1091,0000
08:50	1325,0	1227,0	1224,0	1258,6667
09:05	1241,0	1235,0	1246,0	1240,6667
09:20	1267,0	1314,0	1340,0	1307,0000
09:35	1314,0	1308,0	1011,0	1211,0000
09:50	1326,0	1329,0	1154,0	1269,6667
10:05	1291,0	1047,0	1356,0	1231,3333
10:20	1016,0	1203,0	1154,0	1124,3333
10:35	913,7	1125,0	1143,0	1060,5667
10:45	1086,0	1067,0	1176,0	1109,6667
10:45	Fin. Comienzo de llenado de moldes			

8.3. Cálculos del proyecto

Los valores térmicos utilizados en estos cálculos se encuentran en las tablas de la **Sección 3.4: Método para determinar el estado térmico actual del horno** y las ecuaciones utilizadas son las mencionadas en el marco teórico del proyecto, en la **Sección 2.4: Análisis térmico de hornos**.

8.3.1. Energía actual

$$Q_{total\ actual} = 37.8540\ L \cdot 38372.9333\ kJ/L$$

$$Q_{total\ actual} = \mathbf{1452569,0152\ kJ}$$

8.3.2. Cálculos de requerimiento energético

8.3.2.1. Para fundir 100 kg de bronce

$$Req.\ energ_{100kg\ bronce} = mC_{p(s)}(T_f - T_i) + mL_f + mC_{p(l)}(T_c - T_f)$$

$$Q_1 = 100\ kg \cdot 385\ \frac{J}{kg^{\circ}C} \cdot (976,6667^{\circ}C - 24^{\circ}C) = 36677,6667\ kJ$$

$$Q_2 = 100\ kg \cdot 240000\ \frac{J}{kg} = 24000\ kJ$$

$$Q_3 = 100\ kg \cdot 385\ \frac{J}{kg^{\circ}C} \cdot (1204,4444^{\circ}C - 976,6667^{\circ}C) = 8769,4444\ kJ$$

$$Req. energ_{100kgbronce} = 36677,6667 \text{ kJ} + 24000 \text{ kJ} + 8769,4444 \text{ kJ}$$

$$Req. energ_{100kgbronce} = \mathbf{69447, 1111 \text{ kJ}}$$

Considerando que el poder calórico del aceite quemado utilizado es de 38372.9333 kJ/L y el del gas LPG es 25680 kJ/L.

$$L_{aceite.quemado} = \frac{69447,1111 \text{ kJ}}{38\,372,9333 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{aceite.quemado} = \mathbf{1, 8098 \text{ L}}$$

$$L_{gasLPG} = \frac{69447,1111 \text{ kJ}}{25680 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{gasLPG} = \mathbf{2, 7043 \text{ L}}$$

8.3.2.2. Para calentar el horno

$$V = \text{Área} \cdot \text{Altura}$$

$$V_{horno} = ((0,2848\text{m})^2 \cdot \pi - (0,4138\text{m})^2 \cdot \pi) \cdot 0,4700\text{m} = 0,1331 \text{ m}^3$$

$$V_{tapa} = ((0,4067\text{m})^2 \cdot \pi - (0,1747\text{m})^2 \cdot \pi) \cdot 0,1267\text{m} = 0,0520 \text{ m}^3$$

$$V_{base} = ((0,4138\text{m})^2 \cdot \pi) \cdot 0,0627\text{m} = 0,0337 \text{ m}^3$$

$$m_{horno} = (0,1331 \text{ m}^3 + 0,0520 \text{ m}^3 + 0,0337 \text{ m}^3) \cdot 2050 \text{ kg/m}^3 = 448,4762 \text{ kg}_{horno}$$

$$Q_{horno} = 448,4762 \text{ kg}_{horno} \cdot 960 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (1200^\circ\text{C} - 24^\circ\text{C})$$

$$Q_{horno} = \mathbf{506\,311,7244 \text{ kJ}}$$

$$L_{aceite.quemado} = \frac{506\,311,7244 \text{ kJ}}{38\,372,9333 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{aceite.quemado} = \mathbf{13, 1945 \text{ L}}$$

$$L_{gasLPG} = \frac{506\,311,7244 \text{ kJ}}{25680 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{gasLPG} = \mathbf{19, 7162 \text{ L}}$$

8.3.2.3. Para calentar el crisol

Las dimensiones del crisol actual se han visto modificadas por el uso a lo largo del tiempo, lo que dificulta la medición de estas, así que para el cálculo del requerimiento energético se pesó el crisol, y se obtuvo un valor de 31 kg.

$$m_{crisol} = 31 \text{ kg}$$

$$Q = mC_{p(s)}(T_f - T_i)$$

$$Q_{crisol} = 31 \text{ kg} \cdot 700 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \cdot (1200^\circ\text{C} - 24^\circ\text{C})$$

$$Q_{crisol} = \mathbf{25519,2000 \text{ kJ}}$$

$$L_{aceite.quemado} = \frac{25519,2000 \text{ kJ}}{38\,372,9333 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{aceite.quemado} = \mathbf{0,6650 \text{ L}}$$

$$L_{gasLPG} = \frac{25519,2000 \text{ kJ}}{25680 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{gasLPG} = \mathbf{0,9937 \text{ L}}$$

8.3.2.4. Para calentar el horno recubierto

Ladrillos

Como se calculó anteriormente=

$$Q_{horno} = \mathbf{506\,311,7244 \text{ kJ}}$$

Aislante

Se tomará un valor de Cp del recubrimiento de 1100 J/kg.°C (Aislantes SH S.R.L., 2018).

$$V_{horno} = ((0,4138\text{m} + 0,0508\text{m})^2 \cdot \pi - (0,4138\text{m})^2 \cdot \pi) \cdot 0,4700\text{m} = 0,0659\text{m}^3$$

$$V_{tapa} = ((0,4067\text{m})^2 \cdot \pi - (0,1747\text{m})^2 \cdot \pi) \cdot 0,0508\text{m} = 0,0002 \text{ m}^3$$

$$V_{base} = ((0,4138\text{m})^2 \cdot \pi) \cdot 0,0508\text{m} = 0,0003 \text{ m}^3$$

$$m_{aislante} = (0,0659\text{m}^3 + 0,0002 \text{ m}^3 + 0,0003 \text{ m}^3) \cdot 128 \text{ kg/m}^3 = 8,4968 \text{ kg}_{aislante}$$

$$Q_{aislante} = 8,4968 \text{ kg}_{aislante} \cdot 1100 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (1200^\circ\text{C} - 24^\circ\text{C}) \left(\frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}} \right)$$

$$Q_{aislante} = \mathbf{10\,991,4473 \text{ kJ}}$$

$$Q_{horno.aislante} = \mathbf{506\,311,7244 \text{ kJ} + 10\,991,4473 \text{ kJ}}$$

$$Q_{horno.aislante} = \mathbf{517\,303,1717 \text{ kJ}}$$

$$L_{aceite.quemado} = \frac{517\,303,1717 \text{ kJ}}{38\,372,9333 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{aceite.quemado} = \mathbf{13,4809 \text{ L}}$$

$$L_{gasLPG} = \frac{517\,303,1717 \text{ kJ}}{25680 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{gasLPG} = \mathbf{20,1442 \text{ L}}$$

8.3.3. Cálculos de pérdidas de calor actuales

a) Cálculo de resistencias de paredes

$$R_{cond.cilindro} = \frac{\ln(r^e/r_i)}{2\pi kL}$$

$$R_{cond.ladrillos} = \frac{\ln(0,4138 \text{ m}/0,2848 \text{ m})}{2\pi \cdot 1,69 \frac{W}{m^{\circ}C} \cdot 0,4700 \text{ m}}$$

$$R_{cond.ladrillos} = \mathbf{0,0749^{\circ}C/W}$$

$$R_{cond.metal} = \frac{\ln(0,4168 \text{ m}/0,4138 \text{ m})}{2\pi \cdot 26,9 \frac{W}{m^{\circ}C} \cdot 0,4700 \text{ m}}$$

$$R_{cond.metal} = \mathbf{0,0001^{\circ}C/W}$$

$$R_{cond.total} = \mathbf{0,0749^{\circ}C/W} + \mathbf{0,0001^{\circ}C/W} = \mathbf{0,0749^{\circ}C/W}$$

$$R_{conv} = \frac{1}{h_c A}$$

$$R_{conv.ext} = \frac{1}{10 \frac{W}{m^2^{\circ}C} \cdot 2\pi \cdot 0,4168 \text{ m} \cdot 0,4700 \text{ m}}$$

$$R_{conv.ext} = \mathbf{0,0812^{\circ}C/W}$$

b) Cálculo radiación

$$\varepsilon \sigma A_s = 0,94 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \cdot 2\pi \cdot 0,4168 \text{ m} \cdot 0,4700 \text{ m}$$

$$\varepsilon \sigma A_s = 6,5607 \times 10^{-8} \frac{W}{K^4}$$

8.3.3.1. Cálculo de temperatura teórica

Usando la ecuación 1, que describe el balance de energía en una superficie, se despeja la incógnita de la temperatura superficial externa.

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad}$$

$$\frac{T_{sup.int} - T_{sup.ext}}{R_{cond}} = \frac{T_{sup.ext} - T_{amb}}{R_{conv}} + \varepsilon \sigma A_s (T_{sup.ext}^4 - T_{amb}^4)$$

$$\frac{T_{sup.int}}{R_{cond}} - \frac{T_{sup.ext}}{R_{cond}} = \frac{T_{sup.ext}}{R_{conv}} - \frac{T_{amb}}{R_{conv}} + \varepsilon \sigma A_s T_{sup.ext}^4 - \varepsilon \sigma A_s T_{amb}^4$$

$$\frac{1473,1500 \text{ K}}{0,0749 \text{ K/W}} - \frac{T_{sup.ext}}{0,0749 \text{ K/W}} = \frac{T_{sup.ext}}{0,0812 \text{ K/W}} - \frac{297,1500 \text{ K}}{0,0812 \text{ K/W}} + 6,5607 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{K}^4} T_{sup.ext}^4 - 6,5607 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{K}^4} \cdot (297,1500 \text{ K})^4$$

$$6,5607 \times 10^{-8} \cdot T_{sup.ext}^4 + 25,6532 \cdot T_{sup.ext} - 23826,6190 = 0$$

Como la ecuación es de grado 4, se utiliza el método de Newton-Raphson para aproximar la ecuación:

Para $x_i = 100$				
Iteración	x_i	$f(x_i)$	$f'(x_i)$	ϵ_a
1	100	-2,1255E+04	2,5916E+01	.
2	920,1499	4,6809E+04	2,3010E+02	89,1322
3	716,7222	1,1872E+04	1,2227E+02	28,3831
4	619,6283	1,7400E+03	8,8085E+01	15,6697
5	599,8751	5,7728E+01	8,2302E+01	3,2929
6	599,1737	6,9635E-02	8,2104E+01	0,1171
7	599,1728	1,0166E-07	8,2104E+01	1,42E-04
8	599,1728	0,0000E+00	8,2104E+01	2,07E-10
9	599,1728	0,0000E+00	8,2104E+01	0,00E+00

De este método se obtiene que la temperatura teórica de la cara fría es de 599,1728 K (326,0228 °C)

8.3.3.2. Cálculo práctico de pérdidas de calor

Utilizando la temperatura de la cara fría medida promedio de 164.4833°C, temperatura de la cara caliente medida promedio de 1084.3545°C y que es homogénea en todas las caras, y la temperatura de la cara fría medida promedio de la tapa de 314,6833°C:

a) Pérdidas de calor a través de las paredes

$$R_{cond.ladrillos} = 0,0749 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{cond.metal} = 0,0001 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R}$$

$$\dot{Q}_{paredes} = \frac{1084,3545^\circ\text{C} - 164,4833^\circ\text{C}}{0,0749 \text{ } ^\circ\text{C/W} + 0,0001 \text{ } ^\circ\text{C/W}}$$

$$\dot{Q}_{paredes} = 12274,5302 \text{ W} = 12,2745 \text{ kW [kJ/s]}$$

b) Pérdidas de calor a través de la base

$$R_{cond} = \frac{e}{kA}$$

$$R_{cond.ladrillos} = \frac{0,0627 \text{ m}}{1,69 \frac{W}{m^{\circ}C} \cdot \pi \cdot (0,4138 \text{ m})^2}$$

$$R_{cond.ladrillos} = \mathbf{0,0689^{\circ}C/W}$$

$$R_{cond.metal} = \frac{0,0030 \text{ m}}{26,9 \frac{W}{m^{\circ}C} \cdot \pi \cdot (0,4138 \text{ m})^2}$$

$$R_{cond.metal} = \mathbf{0,0002^{\circ}C/W}$$

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R}$$

$$\dot{Q}_{base} = \frac{1084,3545^{\circ}C - 164,4833^{\circ}C}{\mathbf{0,0689^{\circ}C/W + 0,0002^{\circ}C/W}}$$

$$\dot{Q}_{base} = \mathbf{13\,303,8030\,W = 13,3068\,kW[kJ/s]}$$

c) Pérdidas de calor a través de la tapa

$$R_{cond} = \frac{e}{kA}$$

$$R_{cond.ladrillos} = \frac{0,1200 \text{ m}}{1,69 \frac{W}{m^{\circ}C} \cdot [(\pi(0,4067\text{m})^2) - (\pi \cdot (0,1747\text{m})^2)]}$$

$$R_{cond.ladrillos} = \mathbf{0,1713^{\circ}C/W}$$

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R}$$

$$\dot{Q}_{tapa} = \frac{1084,3545^{\circ}C - 314,6833^{\circ}C}{\mathbf{0,1713^{\circ}C/W}}$$

$$\dot{Q}_{tapa} = \mathbf{4492,9177\,W = 4,4929\,kW[kJ/s]}$$

d) Total de pérdidas de calor por conducción

$$\dot{Q}_{conducción} = \mathbf{12,2745\,kW + 13,3068\,kW + 4,4929\,kW = 30,0743\,kW[kJ/s]}$$

$$L_{aceite.quemado}/h = \frac{30,0743 \frac{kJ}{s} * 3600 \frac{s}{h}}{38\,372,9333 \text{ kJ/L}}$$

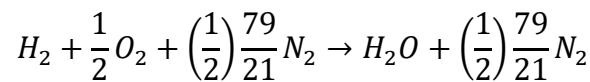
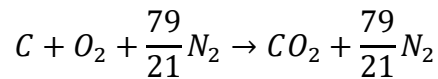
$$L_{aceite.quemado}/h = 2,8214 \text{ L/h}$$

$$L_{gasLPG}/h = \frac{30,0743 \frac{kJ}{s} * 3600 \frac{s}{h}}{25680 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{gasLPG}/h = 4,2160 \text{ L/h}$$

8.3.4. Cálculos de aire teórico de combustión

Para aceite quemado



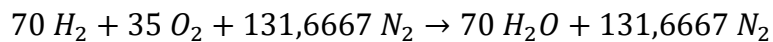
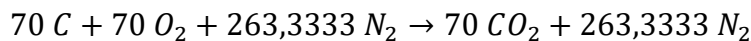
Considerando que el Diesel es 84% C y 14% H₂ (Sarikoç, 2020).

De 1 kg de aceite quemado

$$\frac{840 \text{ g de C}}{12 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \text{ de C}} = 70 \text{ mol de C/kg}_{aceite quemado}$$

$$\frac{140 \text{ g de H}_2}{2 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \text{ de H}_2} = 70 \text{ mol de H}_2/\text{kg}_{aceite quemado}$$

Considerando esto en las ecuaciones de las reacciones químicas con aire teórico:



Para calcular el caudal de aire teórico se consideran:

$$70 \text{ mol de O}_2 + 35 \text{ mol de O}_2 + 263,3333 \text{ mol de N}_2 + 131,6667 \text{ mol de N}_2 = \mathbf{500 \text{ mol de aire teórico}}$$

Para asegurar una combustión completa, se considera 15% de exceso de aire:

$$500 \text{ mol de aire teórico} + 500 \text{ mol de aire teórico} * 0,15 \text{ de exceso} = \mathbf{575 \text{ mol de aire teórico con exceso}}$$

Considerando que 1 mol de gas ideal ocupa un volumen de 22,4L (Upadhyaya & Dube, 1977) y suponiendo que se desarrolla a presión normal y para 1 kg de aceite quemado:

$$575 \text{ mol de aire teórico} \cdot 22,4 \text{ L/mol de aire} = 12880 \text{ L aire}$$

$$12880 \text{ L aire/kg aceite quemado} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 12,8800 \text{ m}^3/\text{kg aceite quemado}$$

$$12,8800 \text{ m}^3/\text{kg aceite quemado} \cdot 0,8527 \text{ kg aceite quemado/L aceite quemado} = \mathbf{10,9832 \text{ m}^3/\text{L aceite quemado}}$$

Actualmente, se utilizan 37,8540 L de aceite quemado en 3 horas (12.6180 L/h), por lo que, teóricamente, se deben estar utilizando:

$$\mathbf{10,9832 \text{ m}^3/\text{L aceite quemado} \cdot 12,6180 \text{ L aceite quemado/h} = \mathbf{138,5858 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Cálculo caudal de soplador actual

El diámetro de la tubería por donde pasa el aire del soplador es de 2", y el soplador tiene una velocidad de 230 millas por hora. Utilizando estos valores, se calcula el caudal de aire del soplador actual:

$$\text{Caudal}_{\text{soplador actual}} = \pi \cdot (0,0254\text{m})^2 \cdot 230 \frac{\text{millas}}{\text{h}} * \frac{1609,34 \text{ metros}}{1 \text{ milla}}$$

$$\mathbf{\text{Caudal}_{\text{soplador actual}} = 750,2274 \text{ m}^3/\text{h} = 12,5038 \text{ m}^3/\text{min}}$$

Como se usan 12,6180 L/h, actualmente están utilizando:

$$\frac{750,2274 \text{ m}^3/\text{h}}{2,6180 \text{ L aceite quemado/h}} = \mathbf{59,4569 \text{ m}^3/\text{L aceite quemado}}$$

8.3.5. Cálculos de pérdidas de calor con un recubrimiento

Utilizando la temperatura de la cara caliente medida promedio de 1084.3545°C (1357.4045 K) y la temperatura ambiente de 24°C (297.1500 K), para un aislamiento de 1" y 2", y conductividad térmica de 0.09W/m°C. Para el cálculo de la temperatura superficial interna, se utiliza el mismo procedimiento que en el **Apéndice 8.3.3**.

8.3.5.1. Pérdidas de calor a través de las paredes recubiertas

Para 1" (2.54 cm):

$$\varepsilon\sigma A_s = 0,94 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \cdot 2\pi \cdot 0,4452 \text{ m} * 0,4700 \text{ m}$$

$$\mathbf{\varepsilon\sigma A_s = 7,0077 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{K}^4}}$$

$$R_{\text{cond.aislamiento}} = \frac{\ln(r^e/r^i)}{2\pi kL}$$

$$R_{cond.aisl.y.metal} = \frac{\ln(0,4168 \text{ m}/0,4422 \text{ m})}{2\pi \cdot 0,09 \frac{W}{m^{\circ}C} \cdot 0,4700 \text{ m}} + \frac{\ln(0,4422 \text{ m}/0,4452 \text{ m})}{2\pi \cdot 26,9 \frac{W}{m^{\circ}C} \cdot 0,4700 \text{ m}}$$

$$R_{cond.aisl.y.metal.1''} = 0,2226 \text{ }^{\circ}C/W$$

$$R_{cond} = 0,2226 \text{ }^{\circ}C/W + 0,0749 \text{ }^{\circ}C/W = 0,2976 \text{ }^{\circ}C/W$$

$$R_{conv} = \frac{1}{h_c A}$$

$$R_{conv.ext} = \frac{1}{10 \frac{W}{m^2 \text{ }^{\circ}C} \cdot 2\pi \cdot 0,4452 \text{ m} \cdot 0,4700 \text{ m}}$$

$$R_{conv.ext} = 0,0761 \text{ }^{\circ}C/W$$

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad}$$

$$\frac{T_{sup.int} - T_{sup.ext}}{R_{cond}} = \frac{T_{sup.ext} - T_{amb}}{R_{conv}} + \varepsilon \sigma A_s (T_{sup.ext}^4 - T_{amb}^4)$$

$$\frac{T_{sup.int}}{R_{cond}} - \frac{T_{sup.ext}}{R_{cond}} = \frac{T_{sup.ext}}{R_{conv}} - \frac{T_{amb}}{R_{conv}} + \varepsilon \sigma A_s T_{sup.ext}^4 - \varepsilon \sigma A_s T_{amb}^4$$

$$\frac{1357,5045 \text{ K}}{0,2976 \frac{K}{W}} - \frac{T_{sup.ext}}{0,2976 \frac{K}{W}} = \frac{T_{sup.ext}}{0,0761 \frac{K}{W}} - \frac{297,1500 \text{ K}}{0,0761 \frac{K}{W}} + 7,0077 \times 10^{-8} \frac{W}{K^4} T_{sup.ext}^4 - 7,0077 \times 10^{-8} \frac{W}{K^4} \cdot (297,1500 \text{ K})^4$$

$$7,0077 \times 10^{-8} \cdot T_{sup.ext}^4 + 16,5086 \cdot T_{sup.ext} - 9015,0837 = 0$$

Utilizando el método de Newton-Raphson para aproximar la ecuación:

Para $x_i = 100$				
Iteración	x_i	$f(x_i)$	$f'(x_i)$	ε_a
1	100	-7,3572E+03	1,6789E+01	.
2	538,2201	5,7507E+03	6,0212E+01	81,4202
3	442,7130	9,8541E+02	4,0831E+01	21,5731
4	418,5790	4,6278E+01	3,7066E+01	5,7657
5	417,3304	1,1461E-01	3,6883E+01	0,2992
6	417,3273	7,0710E-07	3,6882E+01	0,0007
7	417,3273	0,0000E+00	3,6882E+01	4,59E-09
8	417,3273	0,0000E+00	3,6882E+01	0,00E+00
9	417,3273	0,0000E+00	3,6882E+01	0,00E+00

De este método se obtiene que la temperatura teórica de la cara fría es de 417.3273 K (144.1773°C)

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R}$$

$$\dot{Q}_{paredes} = \frac{1084,3545^{\circ}\text{C} - 144,1773^{\circ}\text{C}}{0,2976^{\circ}\text{C}/\text{W}}$$

$$\dot{Q}_{paredes} = 3159,3615 \text{ W} = 3,1594 \text{ kW} [\text{kJ}/\text{s}]$$

$$\dot{Q}_{paredes} \text{ ahorrado} = 12,2745 \text{ kW} - 3,1594 \text{ kW} = 9,1154 \text{ kW} [\text{kJ}/\text{s}]$$

$$L_{aceite.quemado}/h = \frac{3,1594 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} * 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{38\,372,9333 \text{ kJ}/\text{L}}$$

$$L_{aceite.quemado}/h = 0,2964 \text{ L}/h$$

$$\frac{L_{aceite.quemado}}{h} \text{ ahorrados} = 1,1515 \text{ L}/h - 0,2964 \text{ L}/h = 0,8551 \text{ L}/h$$

Para 2" (5.08 cm):

$$\varepsilon \sigma A_s = 0,94 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \cdot 2\pi \cdot 0,4706 \text{ m} * 0,4700 \text{ m}$$

$$\varepsilon \sigma A_s = 7,4075 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{K}^4}$$

$$R_{cond.aislamiento} = \frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi kL}$$

$$R_{cond.aisl.y.metal} = \frac{\ln(0,4676 \text{ m}/0,4168 \text{ m})}{2\pi \cdot 0,09 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}} \cdot 0,4700 \text{ m}} + \frac{\ln(0,4706 \text{ m}/0,4676 \text{ m})}{2\pi \cdot 26,9 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}} \cdot 0,4700 \text{ m}}$$

$$R_{cond.aisl.y.metal.2"} = 0,4328^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

$$R_{cond} = 0,5077^{\circ}\text{C}/\text{W} + 0,0749^{\circ}\text{C}/\text{W} = 0,5077^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

$$R_{conv} = \frac{1}{h_c A}$$

$$R_{conv.ext} = \frac{1}{10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{C}} \cdot 2\pi \cdot 0,4706 \text{ m} * 0,4700 \text{ m}}$$

$$R_{conv.ext} = 0,0720^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad}$$

$$\frac{T_{sup,int} - T_{sup,ext}}{R_{cond}} = \frac{T_{sup,ext} - T_{amb}}{R_{conv}} + \varepsilon \sigma A_s (T_{sup,ext}^4 - T_{amb}^4)$$

$$\frac{T_{sup,int}}{R_{cond}} - \frac{T_{sup,ext}}{R_{cond}} = \frac{T_{sup,ext}}{R_{conv}} - \frac{T_{amb}}{R_{conv}} + \varepsilon \sigma A_s T_{sup,ext}^4 - \varepsilon \sigma A_s T_{amb}^4$$

$$\frac{1357,5045 \text{ K}}{0,5077 \frac{\text{K}}{\text{W}}} - \frac{T_{sup,ext}}{0,5077 \frac{\text{K}}{\text{W}}} = \frac{T_{sup,ext}}{0,0720 \frac{\text{K}}{\text{W}}} - \frac{297,1500 \text{ K}}{0,0720 \frac{\text{K}}{\text{W}}} + 7,4075 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{K}^4} T_{sup,ext}^4 - 7,4075 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{K}^4} \cdot (297,1500 \text{ K})^4$$

$$7,4075 \times 10^{-8} \cdot T_{sup,ext}^4 + 15,8679 \cdot T_{sup,ext} - 7381,2012 = 0$$

Utilizando el método de Newton-Raphson para aproximar la ecuación:

Para $x_i = 100$				
Iteración	x_i	$f(x_i)$	$f'(x_i)$	ε_a
1	100	-5,7870E+03	1,6164E+01	.
2	458,0135	3,1463E+03	4,4337E+01	78,1666
3	387,0502	4,2289E+02	3,3048E+01	18,3344
4	374,2540	1,0664E+01	3,1400E+01	3,4191
5	373,9143	7,1759E-03	3,1358E+01	0,0908
6	373,9141	3,2542E-09	3,1358E+01	0,0001
7	373,9141	0,0000E+00	3,1358E+01	2,78E-11
8	373,9141	0,0000E+00	3,1358E+01	0,00E+00
9	373,9141	0,0000E+00	3,1358E+01	0,00E+00

De este método se obtiene que la temperatura teórica de la cara fría es de 373.9141 K (100.7641 °C)

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R}$$

$$\dot{Q}_{paredes} = \frac{1084,3545^\circ\text{C} - 100,7641^\circ\text{C}}{0,5077^\circ\text{C}/\text{W}}$$

$$\dot{Q}_{paredes} = 1937,3252 \text{ W} = 1,9373 \text{ kW}[\text{kJ/s}]$$

$$\dot{Q}_{paredes} \text{ ahorrado} = 12,2745 \text{ kW} - 1,9373 \text{ kW} = 10,3372 \text{ kW}[\text{kJ/s}]$$

$$L_{aceite.quemado}/h = \frac{1,9373 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} * 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{38\,372,9333 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{aceite.quemado}/h = 0,1818 \text{ L/h}$$

$$\frac{L_{\text{aceite.quemado}}}{h} \text{ ahorrados} = 1,1515 \frac{L}{h} - 0,1818 \frac{L}{h} = \mathbf{0,9698 L/h}$$

8.3.5.2. Pérdidas de calor a través de la base recubierta

Para 1" (2.54 cm):

$$\varepsilon \sigma A_s = 0,94 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \cdot \pi \cdot (0,4138 \text{ m})^2$$

$$\varepsilon \sigma A_s = \mathbf{2,8676 \times 10^{-8} \frac{W}{K^4}}$$

$$R_{\text{cond}} = \frac{e}{kA}$$

$$R_{\text{cond.ladrillos}} = \frac{0,0627 \text{ m}}{1,69 \frac{W}{m^{\circ}C} \cdot \pi \cdot (0,4138 \text{ m})^2}$$

$$\mathbf{R_{\text{cond.ladrillos}} = 0,0689 \text{ }^{\circ}C/W}$$

$$R_{\text{cond.metal}} = \frac{0,0030 \text{ m}}{26,9 \frac{W}{m^{\circ}C} \cdot \pi \cdot (0,4138 \text{ m})^2}$$

$$\mathbf{R_{\text{cond.metal}} = 0,0002 \text{ }^{\circ}C/W}$$

$$R_{\text{cond}} = \frac{e}{kA}$$

$$R_{\text{cond.aisl}} = \frac{0,0254 \text{ m}}{0,09 \frac{W}{m^{\circ}C} \cdot \pi \cdot (0,4138 \text{ m})^2}$$

$$\mathbf{R_{\text{cond.aisl}} = 0,5246 \text{ }^{\circ}C/W}$$

$$R_{\text{cond.metal}} = \frac{0,0030 \text{ m}}{26,9 \frac{W}{m^{\circ}C} \cdot \pi \cdot (0,4138 \text{ m})^2}$$

$$\mathbf{R_{\text{cond.metal}} = 0,0002 \text{ }^{\circ}C/W}$$

$$\mathbf{R_{\text{cond}} = 0,5246 \text{ }^{\circ}C/W + 0,0002 \text{ }^{\circ}C/W + 0,0689 \text{ }^{\circ}C/W + 0,0002 \text{ }^{\circ}C/W = 0,5939 \text{ }^{\circ}C/W}$$

$$R_{\text{conv}} = \frac{1}{h_c A}$$

$$R_{conv.ext} = \frac{1}{10 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot \pi \cdot (0,4138 m)^2}$$

$$R_{conv.ext} = 0,1859 \text{ } ^\circ C/W$$

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad}$$

$$\frac{T_{sup.int} - T_{sup.ext}}{R_{cond}} = \frac{T_{sup.ext} - T_{amb}}{R_{conv}} + \varepsilon \sigma A_s (T_{sup.ext}^4 - T_{amb}^4)$$

$$\frac{T_{sup.int}}{R_{cond}} - \frac{T_{sup.ext}}{R_{cond}} = \frac{T_{sup.ext}}{R_{conv}} - \frac{T_{amb}}{R_{conv}} + \varepsilon \sigma A_s T_{sup.ext}^4 - \varepsilon \sigma A_s T_{amb}^4$$

$$\frac{1357,5045 K}{0,5939 \frac{K}{W}} - \frac{T_{sup.ext}}{0,5939 \frac{K}{W}} = \frac{T_{sup.ext}}{0,1859 \frac{K}{W}} - \frac{297,1500 K}{0,1859 \frac{K}{W}} + 2,8676 \times 10^{-8} \frac{W}{K^4} T_{sup.ext}^4 - 2,8676 \times 10^{-8} \frac{W}{K^4} \cdot (297,1500 K)^4$$

$$2,8676 \times 10^{-8} \cdot T_{sup.ext}^4 + 7,0640 \cdot T_{sup.ext} - 4108,0926 = 0$$

Utilizando el método de Newton-Raphson para aproximar la ecuación:

Para $x_i = 100$				
Iteración	x_i	$f(x_i)$	$f'(x_i)$	ε_a
1	100	-3,3988E+03	7,1787E+00	.
2	573,4560	3,0439E+03	2,8695E+01	82,5619
3	467,3776	5,6179E+02	1,8775E+01	22,6965
4	437,4546	3,2238E+01	1,6666E+01	6,8402
5	435,5203	1,2283E-01	1,6539E+01	0,4441
6	435,5129	1,8000E-06	1,6539E+01	0,0017
7	435,5129	0,0000E+00	1,6539E+01	2,50E-08
8	435,5129	0,0000E+00	1,6539E+01	0,00E+00
9	435,5129	0,0000E+00	1,6539E+01	0,00E+00

De este método se obtiene que la temperatura teórica de la cara fría es de 435,5129 K (162,3629 °C)

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R}$$

$$\dot{Q}_{base} = \frac{1084,3545 \text{ } ^\circ C - 162,3629 \text{ } ^\circ C}{0,5939 \text{ } ^\circ C/W}$$

$$\dot{Q}_{base} = 1552,4636 \text{ W} = 1,5525 \text{ kW} [kJ/s]$$

$$\dot{Q}_{base \text{ ahorrado}} = 13,3068 \text{ kW} - 1,5525 \text{ kW} = \mathbf{11,7543 \text{ kW} [kJ/s]}$$

$$L_{aceite.quemado}/h = \frac{1,5525 \frac{kJ}{s} * 3600 \frac{s}{h}}{38\,372,9333 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{aceite.quemado}/h = 0,1456 \text{ L/h}$$

$$\frac{L_{aceite.quemado}}{h} \text{ ahorrados} = 1,2484 \frac{L}{h} - 0,1456 \text{ L/h} = \mathbf{1,1027 \text{ L/h}}$$

Para 2" (5.08 cm):

$$R_{cond} = \frac{e}{kA}$$

$$R_{cond.aisl} = \frac{0,0508 \text{ m}}{0,09 \frac{W}{m^{\circ}C} \cdot \pi \cdot (0,4138 \text{ m})^2}$$

$$R_{cond.aisl} = \mathbf{1,0491 \text{ }^{\circ}C/W}$$

$$R_{cond.metal} = \frac{0,0030 \text{ m}}{26,9 \frac{W}{m^{\circ}C} \cdot \pi \cdot (0,4138 \text{ m})^2}$$

$$R_{cond.metal} = \mathbf{0,0002 \text{ }^{\circ}C/W}$$

$$R_{cond} = 1,0491 \text{ }^{\circ}C/W + 0,0002 \text{ }^{\circ}C/W + 0,0689 \text{ }^{\circ}C/W + 0,0002 \text{ }^{\circ}C/W = \mathbf{1,1184 \text{ }^{\circ}C/W}$$

$$R_{conv.ext} = \mathbf{0,1859 \text{ }^{\circ}C/W}$$

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad}$$

$$\frac{T_{sup.int} - T_{sup.ext}}{R_{cond}} = \frac{T_{sup.ext} - T_{amb}}{R_{conv}} + \varepsilon \sigma A_s (T_{sup.ext}^4 - T_{amb}^4)$$

$$\frac{T_{sup.int}}{R_{cond}} - \frac{T_{sup.ext}}{R_{cond}} = \frac{T_{sup.ext}}{R_{conv}} - \frac{T_{amb}}{R_{conv}} + \varepsilon \sigma A_s T_{sup.ext}^4 - \varepsilon \sigma A_s T_{amb}^4$$

$$\frac{1357,5045 \text{ K}}{1,1184 \frac{K}{W}} - \frac{T_{sup.ext}}{1,1184 \frac{K}{W}} = \frac{T_{sup.ext}}{0,1859 \frac{K}{W}} - \frac{297,1500 \text{ K}}{0,5380 \frac{K}{W}} + 2,8676 \times 10^{-8} \frac{W}{K^4} T_{sup.ext}^4 - 2,8676 \times 10^{-8} \frac{W}{K^4} \cdot (297,1500 \text{ K})^4$$

$$\mathbf{2,8676 \times 10^{-8} \cdot T_{sup.ext}^4 + 6,2743 \cdot T_{sup.ext} - 3036,0501 = 0}$$

Utilizando el método de Newton-Raphson para aproximar la ecuación:

Para $x_i = 100$				
Iteración	x_i	$f(x_i)$	$f'(x_i)$	ϵ_a
1	100	-2,4057E+03	6,3890E+00	.
2	476,5437	1,4328E+03	1,8687E+01	79,0156
3	399,8725	2,0604E+02	1,3608E+01	19,1739
4	384,7317	6,1490E+00	1,2806E+01	3,9354
5	384,2515	5,8666E-03	1,2782E+01	0,1250
6	384,2511	5,3510E-09	1,2782E+01	0,0001
7	384,2511	0,0000E+00	1,2782E+01	1,09E-10
8	384,2511	0,0000E+00	1,2782E+01	0,00E+00
9	384,2511	0,0000E+00	1,2782E+01	0,00E+00

De este método se obtiene que la temperatura teórica de la cara fría es de 384.2511 K (111.1011 °C)

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R}$$

$$\dot{Q}_{base} = \frac{1084,3545^\circ\text{C} - 111,1011^\circ\text{C}}{1,1184^\circ\text{C}/\text{W}}$$

$$\dot{Q}_{base} = 870,1855 \text{ W} = 0,8702 \text{ kW}[\text{kJ}/\text{s}]$$

$$\dot{Q}_{base} \text{ ahorrado} = 13,3068 \text{ kW} - 0,8702 \text{ kW} = 12,4366 \text{ kW}[\text{kJ}/\text{s}]$$

$$L_{aceite.quemado}/h = \frac{0,8702 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} * 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{38\,372,9333 \text{ kJ}/\text{L}}$$

$$L_{aceite.quemado}/h = 0,0816 \text{ L}/\text{h}$$

$$\frac{L_{aceite.quemado}}{h} \text{ ahorrados} = 1,2484 \text{ L}/\text{h} - 0,0816 \text{ L}/\text{h} = 1,1668 \text{ L}/\text{h}$$

8.3.5.3. Pérdidas de calor a través de la tapa recubierta

Para 1" (2.54 cm):

$$\epsilon\sigma A_s = 0,94 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \cdot \pi \cdot [(\pi(0,4067\text{m})^2) - (\pi \cdot (0,1747\text{m})^2)]$$

$$\epsilon\sigma A_s = 2,2583 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{K}^4}$$

$$R_{cond} = \frac{e}{kA}$$

$$R_{cond.ladrillos} = \frac{0,1200 \text{ m}}{1,69 \frac{W}{m^{\circ}C} \cdot \pi \cdot [(\pi(0,4067m)^2) - (\pi \cdot (0,1747m)^2)]}$$

$$R_{cond.ladrillos} = \mathbf{0,1713 \text{ }^{\circ}C/W}$$

$$R_{cond.metal} = \frac{0,0030 \text{ m}}{26,9 \frac{W}{m^{\circ}C} \cdot \pi \cdot [(\pi(0,4067m)^2) - (\pi \cdot (0,1747m)^2)]}$$

$$R_{cond.metal} = \mathbf{0,0003 \text{ }^{\circ}C/W}$$

$$R_{cond} = \frac{e}{kA}$$

$$R_{cond.aisl} = \frac{0,0254 \text{ m}}{0,09 \frac{W}{m^{\circ}C} \cdot \pi \cdot [(\pi(0,4067m)^2) - (\pi \cdot (0,1747m)^2)]}$$

$$R_{cond.aisl} = \mathbf{0,6661 \text{ }^{\circ}C/W}$$

$$R_{cond.metal} = \frac{0,0030 \text{ m}}{26,9 \frac{W}{m^{\circ}C} \cdot \pi \cdot [(\pi(0,4067m)^2) - (\pi \cdot (0,1747m)^2)]}$$

$$R_{cond.metal} = \mathbf{0,0003 \text{ }^{\circ}C/W}$$

$$R_{cond} = \mathbf{0,6661 \text{ }^{\circ} \frac{C}{W} + 0,0003 \text{ }^{\circ} \frac{C}{W} + 0,1713 \text{ }^{\circ} \frac{C}{W} + 0,0003 \text{ }^{\circ}C/W = \mathbf{0,8379 \text{ }^{\circ}C/W}$$

$$R_{conv} = \frac{1}{h_c A}$$

$$R_{conv.ext} = \frac{1}{10 \frac{W}{m^2 \text{ }^{\circ}C} \cdot \pi \cdot [(\pi(0,4067m)^2) - (\pi \cdot (0,1747m)^2)]}$$

$$R_{conv.ext} = \mathbf{0,2360 \text{ }^{\circ}C/W}$$

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad}$$

$$\frac{T_{sup.int} - T_{sup.ext}}{R_{cond}} = \frac{T_{sup.ext} - T_{amb}}{R_{conv}} + \varepsilon \sigma A_s (T_{sup.ext}^4 - T_{amb}^4)$$

$$\frac{T_{sup.int}}{R_{cond}} - \frac{T_{sup.ext}}{R_{cond}} = \frac{T_{sup.ext}}{R_{conv}} - \frac{T_{amb}}{R_{conv}} + \varepsilon \sigma A_s T_{sup.ext}^4 - \varepsilon \sigma A_s T_{amb}^4$$

$$\frac{1357,5045 \text{ K}}{0,8379 \frac{\text{K}}{\text{W}}} - \frac{T_{sup.ext}}{0,8379 \frac{\text{K}}{\text{W}}} = \frac{T_{sup.ext}}{0,2360 \frac{\text{K}}{\text{W}}} - \frac{297,1500 \text{ K}}{0,2360 \frac{\text{K}}{\text{W}}} + 2,2583 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{K}^4} T_{sup.ext}^4 - 2,2583 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{K}^4} \cdot (297,1500 \text{ K})^4$$

$$2,2583 \times 10^{-8} \cdot T_{sup.ext}^4 + 5,4305 \cdot T_{sup.ext} - 3055,1993 = 0$$

Utilizando el método de Newton-Raphson para aproximar la ecuación:

Para $x_i = 100$				
Iteración	x_i	$f(x_i)$	$f'(x_i)$	ϵ_a
1	100	-2,5099E+03	5,5208E+00	.
2	554,6239	2,0935E+03	2,0841E+01	81,9698
3	454,1751	3,7207E+02	1,3893E+01	22,1167
4	427,3945	1,9269E+01	1,2483E+01	6,2660
5	425,8508	5,8836E-02	1,2406E+01	0,3625
6	425,8460	5,5263E-07	1,2406E+01	0,0011
7	425,8460	0,0000E+00	1,2406E+01	1,05E-08
8	425,8460	0,0000E+00	1,2406E+01	0,00E+00
9	425,8460	0,0000E+00	1,2406E+01	0,00E+00

De este método se obtiene que la temperatura teórica de la cara fría es de 425.8460 K (152.6960°C)

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R}$$

$$\dot{Q}_{tapa} = \frac{1084,3545^\circ\text{C} - 152,6960^\circ\text{C}}{0,8379^\circ\text{C}/\text{W}}$$

$$\dot{Q}_{tapa} = 1111,8748 \text{ W} = 1,1119 \text{ kW}[\text{kJ}/\text{s}]$$

$$\dot{Q}_{tapa} \text{ ahorrado} = 4,4929 \text{ kW} - 1,1119 \text{ kW} = 3,3810 \text{ kW}[\text{kJ}/\text{s}]$$

$$L_{aceite.quemado}/h = \frac{1,1119 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} * 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{38\ 372,9333 \text{ kJ}/\text{L}}$$

$$L_{aceite.quemado}/h = 0,1043 \text{ L}/\text{h}$$

$$\frac{L_{aceite.quemado}}{h} \text{ ahorrados} = 0,4215 \text{ L}/\text{h} - 0,1043 \text{ L}/\text{h} = 0,3172 \text{ L}/\text{h}$$

Para 2" (5.08 cm):

$$R_{cond} = \frac{e}{kA}$$

$$R_{cond.ladrillos} = \frac{0,1200 \text{ m}}{1,69 \frac{W}{m^{\circ}C} \cdot \pi \cdot [(\pi(0,4067m)^2) - (\pi \cdot (0,1747m)^2)]}$$

$$R_{cond.ladrillos} = \mathbf{0,1713 \text{ }^{\circ}C/W}$$

$$R_{cond.metal} = \frac{0,0030 \text{ m}}{26,9 \frac{W}{m^{\circ}C} \cdot \pi \cdot [(\pi(0,4067m)^2) - (\pi \cdot (0,1747m)^2)]}$$

$$R_{cond.metal} = \mathbf{0,0003 \text{ }^{\circ}C/W}$$

$$R_{cond} = \frac{e}{kA}$$

$$R_{cond.aisl} = \frac{0,0508 \text{ m}}{0,09 \frac{W}{m^{\circ}C} \cdot \pi \cdot [(\pi(0,4067m)^2) - (\pi \cdot (0,1747m)^2)]}$$

$$R_{cond.aisl} = \mathbf{1,3322 \text{ }^{\circ}C/W}$$

$$R_{cond.metal} = \frac{0,0030 \text{ m}}{26,9 \frac{W}{m^{\circ}C} \cdot \pi \cdot [(\pi(0,4067m)^2) - (\pi \cdot (0,1747m)^2)]}$$

$$R_{cond.metal} = \mathbf{0,0003 \text{ }^{\circ}C/W}$$

$$R_{cond} = \mathbf{1,3322 \text{ }^{\circ} \frac{C}{W} + 0,0003 \text{ }^{\circ} \frac{C}{W} + 0,1713 \text{ }^{\circ} \frac{C}{W} + 0,0003 \text{ }^{\circ} \frac{C}{W} = 1,5040 \text{ }^{\circ}C/W}$$

$$R_{conv.ext} = \mathbf{0,2360 \text{ }^{\circ}C/W}$$

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad}$$

$$\frac{T_{sup.int} - T_{sup.ext}}{R_{cond}} = \frac{T_{sup.ext} - T_{amb}}{R_{conv}} + \varepsilon \sigma A_s (T_{sup.ext}^4 - T_{amb}^4)$$

$$\frac{T_{sup.int}}{R_{cond}} - \frac{T_{sup.ext}}{R_{cond}} = \frac{T_{sup.ext}}{R_{conv}} - \frac{T_{amb}}{R_{conv}} + \varepsilon \sigma A_s T_{sup.ext}^4 - \varepsilon \sigma A_s T_{amb}^4$$

$$\frac{1357,5045 \text{ K}}{1,5040 \frac{\text{K}}{\text{W}}} - \frac{T_{sup.ext}}{1,5040 \frac{\text{K}}{\text{W}}} = \frac{T_{sup.ext}}{0,2360 \frac{\text{K}}{\text{W}}} - \frac{297,1500 \text{ K}}{0,2360 \frac{\text{K}}{\text{W}}} + 2,2583 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{K}^4} T_{sup.ext}^4 - 2,2583 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{K}^4} \cdot (297,1500 \text{ K})^4$$

$$2,2583 \times 10^{-8} \cdot T_{sup.ext}^4 + 4,9019 \cdot T_{sup.ext} - 2337,7010 = 0$$

Utilizando el método de Newton-Raphson para aproximar la ecuación:

Para $x_i = 100$				
Iteración	x_i	$f(x_i)$	$f'(x_i)$	ϵ_a
1	100	-1,8452E+03	4,9923E+00	.
2	469,6212	1,0628E+03	1,4258E+01	78,7062
3	395,0813	1,4916E+02	1,0472E+01	18,8670
4	380,8379	4,1885E+00	9,8914E+00	3,7400
5	380,4145	3,5211E-03	9,8748E+00	0,1113
6	380,4141	2,4925E-09	9,8748E+00	0,0001
7	380,4141	0,0000E+00	9,8748E+00	6,63E-11
8	380,4141	0,0000E+00	9,8748E+00	0,00E+00
9	380,4141	0,0000E+00	9,8748E+00	0,00E+00

De este método se obtiene que la temperatura teórica de la cara fría es de 380,4141 K (107,2641 °C)

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R}$$

$$\dot{Q}_{tapa} = \frac{1084,3545^\circ\text{C} - 107,2641^\circ\text{C}}{1,5040^\circ\text{C}/\text{W}}$$

$$\dot{Q}_{tapa} = 649,6614 \text{ W} = 0,6497 \text{ kW} [\text{kJ/s}]$$

$$\dot{Q}_{tapa} \text{ ahorrados} = 4,4929 \text{ kW} - 0,6497 \text{ kW} = 3,8433 \text{ kW} [\text{kJ/s}]$$

$$L_{aceite.quemado}/h = \frac{0,6497 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} * 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{38\,372,9333 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{aceite.quemado}/h = 0,0609 \text{ L/h}$$

$$\frac{L_{aceite.quemado}}{h} \text{ ahorrados} = 0,4215 \text{ L/h} - 0,0609 \text{ L/h} = 0,3606 \text{ L/h}$$

8.3.5.4. Total de pérdidas de calor por conducción con aislamiento

Para 1”:

$$\dot{Q}_{total} = 3,1594 \text{ kW} + 1,5525 \text{ kW} + 1,1119 \text{ kW} = 5,8237 \text{ kW}$$

$$L_{aceite.quemado/h} = \frac{5,8237 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} * 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{38\,372,9333 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{aceite.quemado/h} = 0,5464 \text{ L/h}$$

$$L_{gasLPG/h} = \frac{5,8237 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} * 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{25680 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{gasLPG/h} = 0,8164 \text{ L/h}$$

$$\dot{Q}_{total} \text{ ahorrado} = 9,1154 \text{ kW} + 11,7543 \text{ kW} + 3,3810 \text{ kW} = 24,2506 \text{ kW}$$

$$L_{aceite.quemado/h} \text{ ahorrados} = \frac{24,2506 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} * 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{38\,372,9333 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{aceite.quemado/h} \text{ ahorrados} = 2,2751 \text{ L/h}$$

$$L_{aceite.quemado/h} \text{ ahorrados en 3h} = 6,8253 \text{ L}$$

$$L_{gasLPG/h} \text{ ahorrados} = \frac{24,2506 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} * 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{25680 \text{ kJ/L}}$$

$$\frac{L_{gasLPG}}{h} \text{ ahorrados} = 3,3996 \text{ L/h}$$

$$L_{gas.LPG/h} \text{ ahorrados en 3h} = 10,1988 \text{ L}$$

Para 2”

$$\dot{Q}_{total} = 1,9373 \text{ kW} + 0,8702 \text{ kW} + 0,6497 \text{ kW} = 3,4572 \text{ kW}$$

$$L_{aceite.quemado/h} = \frac{3,4572 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} * 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{38\,372,9333 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{aceite.quemado/h} = 0,3243 \text{ L/h}$$

$$L_{gasLPG/h} = \frac{3,4572 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} * 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{25680 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{gasLPG/h} = 0,4847 \text{ L/h}$$

$$\dot{Q}_{total \text{ ahorrado}} = 10,3372 \text{ kW} + 12,4366 \text{ kW} + 3,8433 \text{ kW} = 26,6171 \text{ kW}$$

$$L_{aceite.quemado/h \text{ ahorrados}} = \frac{26,6171 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} * 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{38\,372,9333 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{aceite.quemado/h \text{ ahorrados}} = 2,4971 \text{ L/h}$$

$$L_{aceite.quemado/h \text{ ahorrados en 3h}} = 7,4913 \text{ L}$$

$$L_{gasLPG/h \text{ ahorrados}} = \frac{26,6171 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} * 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{25680 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{gas.LPG/h \text{ ahorrados}} = 3,7314 \text{ L/h}$$

$$L_{gas.LPG/h \text{ ahorrados en 3h}} = 11,1941 \text{ L}$$

8.3.6. Cálculos para seleccionar un quemador

Para poder cotizar un quemador, es necesario conocer la cantidad de energía que este debe entregarle al horno por hora.

8.3.6.1. Caso sin recubrir

$$\dot{Q}_{pérdidas.horno} = 12274,5302 \text{ W} + 13306,8030 \text{ W} + 4492,9177 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{pérdidas.horno} = 30074,2509 \text{ W}$$

$$Req. \text{ energ}_{100\text{kgbronce}} = 69447,1111 \text{ kJ}$$

$$Q_{horno} = 506311,7244 \text{ kJ}$$

$$Q_{crisol} = 25519,2000 \text{ kJ}$$

$$Q_1 = 30074,2509 \text{ W} \cdot \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}\right) \cdot 3 \text{ h} \cdot \left(\frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}}\right) + 69447,1111 \text{ kJ} + 506311,7244 \text{ kJ} + 25519,2000 \text{ kJ}$$

$$Q_1 = 926079,9457 \text{ kJ}$$

$$Q_{perd.gas.actual} = Q_{total \text{ actual}} - Q_1$$

$$Q_{perd.gas.actual} = 1452569,0152 \text{ kJ} - 926079,9457 \text{ kJ} = 526489,0695 \text{ kJ}$$

$$L_{aceite.quemado} = \frac{526489,0695 \text{ kJ}}{38372,9333 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{aceite.quemado} = 13,7203 \text{ L}$$

$$L_{gas} = \frac{526489,0695 \text{ kJ}}{25680 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{gas} = 20,5019 L$$

$$\%Q_{perd.gas.actual} = \frac{526489,0695 \text{ kJ}}{1452569,0152 \text{ kJ}} \cdot 100 = 36,25\%$$

$$\%Q_{perd.paredes.actual} = \frac{30074,2509 \text{ W} \cdot \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}\right) \cdot 3 \text{ h} \cdot \left(\frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}}\right)}{1452569,0152 \text{ kJ}} \cdot 100 = 22,36\%$$

$$\eta_{actual} = \frac{69447,1111 \text{ kJ}}{1452569,0152 \text{ kJ}} \cdot 100 = 4,78\%$$

Al cambiar el quemador actual a uno nuevo con mejor eficiencia, se espera una reducción del 20% en las pérdidas de calor por los gases de combustión (U.S. Department of Energy et al., 2015):

$$Q_{perd.gas.nuevo1} = 526489,0695 \text{ kJ} \cdot (1 - 0,2) = 421191,2556 \text{ kJ}$$

$$L_{aceite.quemado} = \frac{421191,2556 \text{ kJ}}{38372,9333 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{aceite.quemado} = 10,9763 L$$

$$L_{gas} = \frac{421191,2556 \text{ kJ}}{25680 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{gas} = 16,4015 L$$

$$Q_{total.nuevo1} = Q_{perd.gas.nuevo} + Q_1$$

$$Q_{total.nuevo1} = 421191,2556 \text{ kJ} + 926079,9457 \text{ kJ} = 1347271,2013 \text{ kJ}$$

$$L_{aceite.quemado} = \frac{1347271,2013 \text{ kJ}}{38372,9333 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{aceite.quemado} = 35,1099 L$$

$$L_{gas} = \frac{1347271,2013 \text{ kJ}}{25680 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{gas} = 52,4638 L$$

Ahorro:

$$Q_{ahorro1} = Q_{total actual} - Q_{total.nuevo1}$$

$$Q_{ahorro1} = 1452569,0152 \text{ kJ} + 1347271,2013 \text{ kJ}$$

$$Q_{ahorro1} = 105297,8139 \text{ kJ}$$

$$L_{aceite.quemado} = \frac{105297,8139 \text{ kJ}}{38372,9333 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{aceite.quemado} = 2,7441 \text{ L}$$

$$L_{gas} = \frac{105297,8139 \text{ kJ}}{25680 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{gas} = 4,1004 \text{ L}$$

$$\%Q_{perd.gas.nueva1} = \frac{421191,2556 \text{ kJ}}{1347271,2013 \text{ kJ}} \cdot 100 = 31,26\%$$

$$\%Q_{perd.paredes.nueva1} = \frac{30074,2509 \text{ W} \cdot \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}\right) \cdot 3 \text{ h} \cdot \left(\frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}}\right)}{1347271,2013 \text{ kJ}} \cdot 100 = 24,11\%$$

$$\eta_{nueva1} = \frac{69447,1111 \text{ kJ}}{1347271,2013 \text{ kJ}} \cdot 100 = 5,15\%$$

Capacidad del quemador

Para calcular la capacidad del nuevo quemador, se debe tomar la cantidad de energía total del proceso (1347271,2013 kJ) y dividirla 3 horas de funcionamiento para obtener la potencia del quemador:

$$Q_{total \text{ nuevo}} = 1347271,2013 \text{ kJ}$$

$$Capacidad_{1quemador} = \frac{1347271,2013 \text{ kJ}}{3 \text{ h}} \cdot \left(\frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ kJ}}\right) \cdot \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right) \cdot \frac{3,41 \text{ BTU/h}}{1 \text{ W}}$$

$$Capacidad_{1quemador} = 425388,4071 \text{ BTU/h} = 425,3884 \text{ kBTU/h}$$

8.3.6.2. Recubierto

Además, es importante considerar que es preferible que esta etapa del plan de mejora se realice después del recubrimiento de 2". Si el horno se recubre, las pérdidas de calor a través de las paredes se reducen, así que la capacidad requerida del quemador también disminuye.

$$\dot{Q}_{pérdidas.horno} = 1702,1154 \text{ W} + 870,1855 \text{ W} + 649,6614 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{pérdidas.horno} = 3221,9624 \text{ W}$$

$$Req. \text{ energ}_{100 \text{ kg bronce}} = 69447,1111 \text{ kJ}$$

$$Q_{horno.aislante} = 517303,1717 \text{ kJ}$$

$$Q_{crisol} = 25519,2000 \text{ kJ}$$

$$Q_{1.recubierto} = 3457,1722 \text{ W} \cdot \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}\right) \cdot 3\text{h} \cdot \left(\frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}}\right) + 69447,1111 \text{ kJ} + 517303,1717 \text{ kJ} + 25519,2000 \text{ kJ}$$

$$Q_{1.recubierto} = \mathbf{649606,9427 \text{ kJ}}$$

$$Q'_{total.recubierto} = Q_{perd.gas.actual} + Q_1$$

$$Q'_{total.recubierto} = 526489,0695 \text{ kJ} + 649606,9427 \text{ kJ} = \mathbf{1176096,0123 \text{ kJ}}$$

$$\%Q_{perd.gas.recubierto} = \frac{526489,0695 \text{ kJ}}{1176096,0123 \text{ kJ}} \cdot 100 = \mathbf{44,77\%}$$

$$\%Q_{perd.paredes.recubierto} = \frac{3457,1722 \text{ W} \cdot \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}\right) \cdot 3\text{h} \cdot \left(\frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}}\right)}{1176096,0123 \text{ kJ}} \cdot 100 = \mathbf{3,17\%}$$

$$\eta_{recubierto,no quemador} = \frac{69447,1111 \text{ kJ}}{1176096,0123 \text{ kJ}} \cdot 100 = \mathbf{5,90\%}$$

Al cambiar el quemador actual a uno nuevo con mejor eficiencia, se espera una reducción del 20% en las pérdidas de calor por los gases de combustión (U.S. Department of Energy et al., 2015):

$$Q_{perd.gas.nuevo2} = 526489,0695 \text{ kJ} \cdot (1 - 0,2) = \mathbf{421191,2556 \text{ kJ}}$$

$$Q_{total.nuevo.recubierto} = Q_{perd.gas.nuevo2} + Q_{1.recubierto}$$

$$Q_{total.nuevo.recubierto} = \mathbf{421191,2556 \text{ kJ} + 649606,9427 \text{ kJ} = 1070798,1984 \text{ kJ}}$$

$$L_{aceite.quemado} = \frac{1070798,1984 \text{ kJ}}{38372,9333 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{aceite.quemado} = 27,9050 \text{ L}$$

$$L_{gas} = \frac{1070798,1984 \text{ kJ}}{25680 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{gas} = 41,6977 \text{ L}$$

Ahorro:

$$Q_{ahorro2} = Q'_{total.recubierto} - Q_{total.nuevo.recubierto}$$

$$Q_{ahorro2} = \mathbf{1176096,0123 \text{ kJ} + 1070798,1984 \text{ kJ}}$$

$$Q_{ahorro2} = \mathbf{105297,8139 \text{ kJ}}$$

$$L_{aceite.quemado} = \frac{105297,8139 \text{ kJ}}{38372,9333 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{aceite.quemado} = \mathbf{2,7441 \text{ L}}$$

$$L_{gas} = \frac{105297,8139 \text{ kJ}}{25680 \text{ kJ/L}}$$

$$L_{gas} = 4,1004 L$$

$$\%Q_{perd.gas.recubierto.nueva} = \frac{421191,2556 kJ}{1070798,1984 kJ} \cdot 100 = 39,33\%$$

$$\%Q_{perd.pared.recubierto.nueva} = \frac{3221,9624 W \cdot \left(\frac{3600 s}{1 h}\right) \cdot 3h \cdot \left(\frac{1 kJ}{1000 J}\right)}{1070798,1984 kJ} \cdot 100 = 3,49\%$$

$$\eta_{recubierto y quemador} = \frac{69447,1111 kJ}{1070798,1984 kJ} \cdot 100 = 6,49\%$$

Capacidad del quemador

Para calcular la capacidad del nuevo quemador, se debe tomar la cantidad de energía total del proceso (1070798,1984 kJ) y dividirla 3 horas de funcionamiento para obtener la potencia del quemador:

$$Q_{total\ nuevo.recubierto} = 1070798,1984 kJ$$

$$Capacidad_{2quemador} = \frac{1070798,1984 kJ}{3h} \cdot \left(\frac{1000 J}{1 kJ}\right) \cdot \left(\frac{1 h}{3600 s}\right) \cdot \frac{3,41 BTU/h}{1 W}$$

$$Capacidad_{2quemador} = 338094,6163 \frac{BTU}{h} = 338,0946 kBTU/h$$

8.3.7. Cálculo de combustible total y porcentaje de ahorro

8.3.7.1. Para aceite quemado

Para los casos:

1. Situación actual sin recubrimiento y sin quemador nuevo.

$$Fundir\ el\ bronce = 1,8098 L$$

$$Calentar\ el\ horno = 13,1945 L$$

$$Calentar\ el\ crisol = 0,6650 L$$

$$Q_{perd\ por\ las\ paredes} = 2,8214 L/h$$

$$Q_{perd\ por\ los\ gases\ y\ eficiencia\ del\ quemador} = 13,7203 L$$

$$Total = 1,8098 L + 13,1945 L + 0,6650 L + 2,8214 \frac{L}{h} \cdot 3h + 13,7203 L$$

$$Total = 37,8540 L\ de\ aceite\ quemado$$

$$Costo = 37,8540 L\ de\ aceite\ quemado \cdot \text{¢}528,35 = \text{¢}20\ 000,00$$

$$Ahorro = \text{¢}20\ 000,00 - \text{¢}20\ 000,00 = \text{¢}0$$

$$\% \text{ ahorro de combustible} = \frac{37,8540 \text{ L aceite quemado}}{37,8540 \text{ L aceite quemado actual}} = 0\%$$

2. Sin recubrimiento y con quemador nuevo.

$$\text{Fundir el bronce} = 1,8098 \text{ L}$$

$$\text{Calentar el horno} = 13,1945 \text{ L}$$

$$\text{Calentar el crisol} = 0,6650 \text{ L}$$

$$Q_{\text{perd}} \text{ por las paredes} = 2,8214 \text{ L/h}$$

$$Q_{\text{perd}} \text{ por los gases y eficiencia del quemador} = 10,9763 \text{ L}$$

$$\text{Total} = 1,8098 \text{ L} + 13,1945 \text{ L} + 0,6650 \text{ L} + 2,8214 \frac{\text{L}}{\text{h}} \cdot 3\text{h} + 10,9763 \text{ L}$$

$$\text{Total} = 35,1099 \text{ L de aceite quemado}$$

$$\text{Costo} = 35,1099 \text{ L de aceite quemado} \cdot \text{¢}528,35 = \text{¢}18 550,19$$

$$\text{Ahorro} = \text{¢}20 000,00 - \text{¢}18 550,19 = \text{¢}1 449,81$$

$$\% \text{ ahorro de combustible} = \frac{35,1099 \text{ L aceite quemado}}{37,8540 \text{ L aceite quemado actual}} = 7,25\%$$

3. Con recubrimiento y sin quemador nuevo.

$$\text{Fundir el bronce} = 1,8098 \text{ L}$$

$$\text{Calentar el horno} = 13,4809 \text{ L}$$

$$\text{Calentar el crisol} = 0,6650 \text{ L}$$

$$Q_{\text{perd}} \text{ por las paredes} = 0,3243 \text{ L/h}$$

$$Q_{\text{perd}} \text{ por los gases y eficiencia del quemador} = 13,7203 \text{ L}$$

$$\text{Total} = 1,8098 \text{ L} + 13,4809 \text{ L} + 0,6650 \text{ L} + 0,3243 \frac{\text{L}}{\text{h}} \cdot 3\text{h} + 13,7203 \text{ L}$$

$$\text{Total} = 30,6491 \text{ L de aceite quemado}$$

$$\text{Costo} = 30,6491 \text{ L de aceite quemado} \cdot \text{¢}528,35 = \text{¢}16 193,32$$

$$\text{Ahorro} = \text{¢}20 000,00 - \text{¢}16 193,32 = \text{¢}3 806,68$$

$$\% \text{ ahorro de combustible} = \frac{30,6491 \text{ L aceite quemado}}{37,8540 \text{ L aceite quemado actual}} = 19,03\%$$

4. Con recubrimiento y con quemador nuevo.

$$\text{Fundir el bronce} = 1,8098 \text{ L}$$

$$\text{Calentar el horno} = 13,4809 \text{ L}$$

$$\text{Calentar el crisol} = 0,6650 \text{ L}$$

$$Q_{\text{perd}} \text{ por las paredes} = 0,3243 \text{ L/h}$$

$$Q_{\text{perd}} \text{ por los gases y eficiencia del quemador} = 10,9763 \text{ L}$$

$$\text{Total} = 1,8098 \text{ L} + 13,4809 \text{ L} + 0,6650 \text{ L} + 0,3243 \frac{\text{L}}{\text{h}} \cdot 3\text{h} + 10,9763 \text{ L}$$

$$\text{Total} = 27,9050 \text{ L de aceite quemado}$$

$$\text{Costo} = 27,9050 \text{ L de aceite quemado} \cdot \text{¢}528,35 = \text{¢}14\,743,51$$

$$\text{Ahorro} = \text{¢}20\,000,00 - \text{¢}14\,743,51 = \text{¢}5\,256,49$$

$$\% \text{ ahorro de combustible} = \frac{27,9050 \text{ L aceite quemado}}{37,8540 \text{ L aceite quemado actual}} = 26,28\%$$

8.3.7.2. Para gas LPG

Para los casos:

1. Situación actual sin recubrimiento y sin quemador nuevo.

$$\text{Fundir el bronce} = 2,7043 \text{ L}$$

$$\text{Calentar el horno} = 19,7162 \text{ L}$$

$$\text{Calentar el crisol} = 0,9937 \text{ L}$$

$$Q_{\text{perd}} \text{ por las paredes} = 4,2160 \text{ L/h}$$

$$Q_{\text{perd}} \text{ por los gases y eficiencia del quemador} = 20,5019 \text{ L}$$

$$\text{Total} = 2,7043 \text{ L} + 19,7162 \text{ L} + 0,9937 \text{ L} + 4,2160 \frac{\text{L}}{\text{h}} \cdot 3\text{h} + 20,5019 \text{ L}$$

$$\text{Total} = 56,5642 \text{ L de gas LPG}$$

$$\text{Costo} = 56,5642 \text{ L de gas LPG} \cdot \text{¢}372,6836 = \text{¢}21\,080,55$$

$$\text{Ahorro} = \text{¢}20\,000,00 - \text{¢}21\,080,55 = -\text{¢}1\,080,55$$

$$\% \text{ ahorro de combustible} = \frac{56,5642 \text{ L de gas LPG}}{56,5642 \text{ L de gas LPG actual}} = 0\%$$

2. Sin recubrimiento y con quemador nuevo.

$$\text{Fundir el bronce} = 2,7043 \text{ L}$$

$$\text{Calentar el horno} = 19,7162 \text{ L}$$

$$\text{Calentar el crisol} = 0,9937 \text{ L}$$

$$Q_{\text{perd}} \text{ por las paredes} = 4,2160 \text{ L/h}$$

$$Q_{\text{perd}} \text{ por los gases y eficiencia del quemador} = 16,4015 \text{ L}$$

$$\text{Total} = 2,7043 \text{ L} + 19,7162 \text{ L} + 0,9937 \text{ L} + 4,2160 \frac{\text{L}}{\text{h}} \cdot 3 \text{ h} + 16,4015 \text{ L}$$

$$\text{Total} = 52,4638 \text{ L de gas LPG}$$

$$\text{Costo} = 52,4638 \text{ L de gas LPG} \cdot \text{¢}372,6836 = \text{¢}19\,552,41$$

$$\text{Ahorro} = \text{¢}20\,000,00 - \text{¢}19\,552,41 = \text{¢}447,59$$

$$\% \text{ ahorro de combustible} = \frac{52,4638 \text{ L de gas LPG}}{56,5642 \text{ L de gas LPG actual}} = 7,25\%$$

3. Con recubrimiento y sin quemador nuevo.

$$\text{Fundir el bronce} = 2,7043 \text{ L}$$

$$\text{Calentar el horno} = 20,1442 \text{ L}$$

$$\text{Calentar el crisol} = 0,9937 \text{ L}$$

$$Q_{\text{perd}} \text{ por las paredes} = 0,4847 \text{ L/h}$$

$$Q_{\text{perd}} \text{ por los gases y eficiencia del quemador} = 20,5019 \text{ L}$$

$$\text{Total} = 2,7043 \text{ L} + 20,1442 \text{ L} + 0,9937 \text{ L} + 0,4847 \frac{\text{L}}{\text{h}} \cdot 3 \text{ h} + 20,5019 \text{ L}$$

$$\text{Total} = 45,7981 \text{ L de gas LPG}$$

$$\text{Costo} = 45,7981 \text{ L de gas LPG} \cdot \text{¢}372,6836 = \text{¢}17\,068,21$$

$$\text{Ahorro} = \text{¢}20\,000,00 - \text{¢}17\,068,21 = \text{¢}2\,931,79$$

$$\% \text{ ahorro de combustible} = \frac{45,7981 \text{ L de gas LPG}}{56,5642 \text{ L de gas LPG actual}} = 19,03\%$$

4. Con recubrimiento y con quemador nuevo.

$$\text{Fundir el bronce} = 2,7043 \text{ L}$$

$$\text{Calentar el horno} = 20,1442 \text{ L}$$

$$\text{Calentar el crisol} = 0,9937 \text{ L}$$

$$Q_{\text{perd por las paredes}} = 0,4847 \text{ L/h}$$

$$Q_{\text{perd por los gases y eficiencia del quemador}} = 16,4015 \text{ L}$$

$$\text{Total} = 2,7043 \text{ L} + 20,1442 \text{ L} + 0,9937 \text{ L} + 0,4847 \frac{\text{L}}{\text{h}} \cdot 3\text{h} + 16,4015 \text{ L}$$

$$\text{Total} = 41,6977 \text{ L de gas LPG}$$

$$\text{Costo} = 41,6977 \text{ L de gas LPG} \cdot \text{¢}372,6836 = \text{¢}15\,540,07$$

$$\text{Ahorro} = \text{¢}20\,000,00 - \text{¢}15\,540,07 = \text{¢}4\,459,93$$

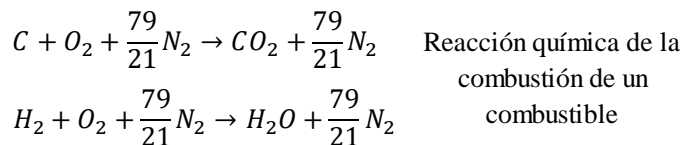
$$\% \text{ ahorro de combustible} = \frac{41,6977 \text{ L de gas LPG}}{56,5642 \text{ L de gas LPG actual}} = 26,28\%$$

8.4. Memoria de cálculo en Excel

En este apéndice se muestra toda la información de la memoria de cálculo en Excel
Hoja de “Fórmulas”

En esta hoja se muestran las fórmulas utilizadas para realizar esta memoria de cálculo

<p>Transferencia de calor</p> $\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R}$ <p>Para calcular el flujo de calor</p>	<p>Eficiencia</p> $\eta = \frac{E_{aprovechada}}{E_{total liberada}} \times 100$
<p>Conducción</p> $R_{cond} = \frac{L}{kA}$ <p>Para calcular la resistencia de conducción de superficies planas</p>	<p>Radiación</p> $\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \sigma A_{sup} (T_{sup}^4 - T_{amb}^4)$ <p>Para calcular el flujo de calor por radiación</p>
<p>Conducción Cilindro</p> $R_{cilindro} = \frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi kL}$ $A_{recubrir} = 2\pi rL$ <p>Para calcular la resistencia de conducción de superficies planas</p>	<p>Requerimiento energético</p> $Q = mC_{p(s)}(T_f - T_i)$ $Q_f = mC_{p(s)}(T_f - T_i) + mL_f + mC_{p(l)}(T_c - T_f)$ <p>Para calcular el requerimiento energético para cambiar la temperatura de un objeto</p>
<p>Convección</p> $R_{conv} = \frac{1}{h_c A}$ <p>Para calcular la resistencia de convección de un sistema</p>	<p>Cálculo de litros de combustible</p> $L_{combustible}[L] = \frac{Energía [kJ]}{Poder calórico [kJ/L]}$ <p>Para calcular la cantidad de litros de combustible necesarios para generar cierta cantidad de energía</p>



Ecuación para calcular la temperatura de la cara fría del horno

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad}$$

$$\frac{T_{sup.int} - T_{sup.ext}}{R_{cond}} = \frac{T_{sup.ext} - T_{amb}}{R_{conv}} + \varepsilon \sigma A_s (T_{sup.ext}^4 - T_{amb}^4)$$

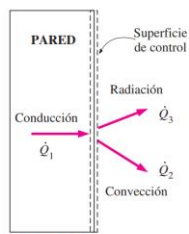


FIGURA 1-18
 Interacciones energéticas en la superficie exterior de la pared de una casa.

Esta relación es válida tanto para condiciones estacionarias como transitorias y el balance de energía en la superficie no comprende generación de calor puesto que una superficie no tiene volumen. En la figura 1-18 el balance de energía para la superficie exterior, por ejemplo, se puede expresar como

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3 \quad (1-20)$$

donde \dot{Q}_1 es la conducción a través de la pared hasta la superficie, \dot{Q}_2 es la convección de calor de la superficie hacia el aire del exterior y \dot{Q}_3 es la radiación neta de la superficie hacia los alrededores.

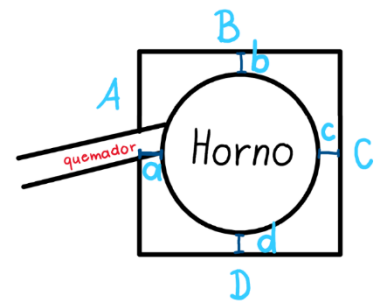
Cuando no se conocen las direcciones de las interacciones, se puede suponer que todas se dirigen hacia la superficie y el balance de energía en la superficie se puede expresar como $\sum \dot{E}_{ent} = 0$. Note que las interacciones en la dirección opuesta finalizarán con valores negativos balanceando esta ecuación.

Hoja de “Datos”

En las siguientes tablas se muestran los datos de las mediciones de las dimensiones del horno de fundición

Horno de fundición (cm)				
	1	2	3	prom
$D_{ext.f=}$	83,5	82,3	82,5	82,7667
$D_{int.f=}$	55,7	57,2	58,0	56,9667
$H_{ext.f=}$	52,3	53,0	53,2	52,8333
$H_{int.f=}$	47,0	47,0	47,0	47,0000
$e_{f=}$	15,1	13,1	12,5	13,5667

Base cuadrada de horno de fundición (cm)				
	1	2	3	prom
A=	100,5	100,5	100,5	100,5000
B=	100,3	100,3	100,3	100,3000
C=	100,5	100,5	100,5	100,5000
D=	100,5	100,5	100,5	100,5000
a=	7,8	7,7	7,7	7,7333
b=	9,1	9,0	9,0	9,0333
c=	7,8	7,7	7,7	7,7333
d=	9,0	8,9	9,0	8,9667
Altura=	15,4	15,6	15,5	15,5000



Tapa horno fundición (cm)				
	1	2	3	prom
$D_{ext.t=}$	81,0	82,0	81,0	81,3333
$D_{int.t=}$	35,0	34,7	35,1	34,9333
$H_{ext.t=}$	17,3	17,5	18,1	17,6333
$H_{int.t=}$	12,0	12,5	12,3	12,2667

Ladrillos refractarios (cm)				
	1	2	3	prom
Altura=	6,3	6,2	6,3	6,2667

Pared de hierro (cm)				
	1	2	3	prom
e=	0,3	0,3	0,3	0,3000

Resumen de dimensiones del horno					
Horno			Base cuadrada		
$D_{ext.f}$	82,7667	cm	A	100,5000	cm
$D_{int.f}$	56,9667	cm	B	100,3000	cm
$H_{ext.f}$	52,8333	cm	C	100,5000	cm
$H_{int.f}$	47,0000	cm	D	100,5000	cm
e_f	13,5667	cm	a	7,7333	cm
Tapa			b	9,0333	cm
$D_{ext.t}$	81,3333	cm	c	7,7333	cm
$D_{int.t}$	34,9333	cm	d	8,9667	cm
$H_{ext.t}$	17,6333	cm	Altura	15,5000	cm
$H_{int.t}$	12,2667	cm			
Ladrillos refractarios de la base					
Altura	6,2667	mm			

Fundición			En esta tabla se encuentran los valores de algunas variables utilizadas para el cálculo de pérdidas de calor
$T_{ext.f} =$	24	$^{\circ}\text{C}$	
$h_{ext.f.teórico} =$	10	$\text{W}/\text{m}^2\text{C}$	
$h =$	3	h	
$k_{ladrillos} =$	1,69	$\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$	
$k_{hierro} =$	26,9	$\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$	

Bronce			En esta tabla se encuentran los valores térmicos del bronce, utilizados para el cálculo de requerimiento energético
Producción=	50	kg/h	
req.energético _{bronce} =	694,4711	kJ/kg	
$k_{bronce} =$	--	$\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$	
$\rho_{bronce} =$	--	kg/m^3	
$C_{p_{bronce}} =$	385	$\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$	
$L_{f_{bronce}} =$	240	kJ/kg	
$C_{p_{bronce(l)}} =$	385	$\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$	

Capa metálica			En esta tabla se encuentra el valor de la conductividad térmica de una lámina de hierro
$e_{metal} =$	3	mm	
$k_{metal} =$	26,9	$\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$	

Ladrillos refractarios			En esta tabla se encuentran los valores térmicos de los ladrillos refractarios del horno, utilizados para el cálculo de pérdidas de calor
$k_{\text{fibra.vidrio}}=$	1,69	W/m°C	
$\rho_{\text{recubrimiento}}=$	2050	kg/m ³	
$C_{\text{recubrimiento}}=$	960	J/kg.°C	

Aceite quemado MetaVGO 120			En esta tabla se encuentra el poder calórico y el costo del aceite quemado utilizado actualmente en la empresa
$P.C_{\text{aceite.quemado}}=$	45	MJ/kg	
$C_{\text{aceite.quemado}}=$	₡528,35	₡/L	
gravedad específica(15°C)=	0,8535	--	
$\rho_{\text{agua}(15^{\circ}\text{C})}=$	999,1	kg/m ³	
$\rho_{\text{agua}(15^{\circ}\text{C})}=$	0,9991	kg/L	
$\rho_{\text{aceite.quemado}}=$	0,85273185	kg/L	
$P.C_{\text{aceite.quemado}}=$	38,3729	MJ/L	
$P.C_{\text{aceite.quemado}}=$	38372,9333	kJ/L	

Gas LPG			En esta tabla se encuentra el poder calórico y el costo del gas LPG
$P.C_{\text{gas.LPG}}=$	25680	kJ/L	
$C_{\text{gas.LPG}}=$	667,592593	₡/kg	
$\rho_{\text{gas.LPG}}=$	558,25	kg/m ³	
	372683,565	₡/m³	
	0,001	m ³ /L	
$C_{\text{gas.LPG}}=$	372,683565	₡/L	
$\rho_{\text{gas.LPG}}=$	0,55825	kg/L	
Blue Flame	218,48	₡/L	

Combustibles actualmente

En esta tabla se muestra el valor del uso de combustible actual en 3 horas de funcionamiento

Aceite quemado refinado	18,927	L x pichinga	2 pichingas x 100 kg bronce	37,8540	L	kg bronce	€10 000,00
Funcionamiento	3	h		1452,5690	MJ		

Mediciones de temperatura cara fría 30/08/2024

En esta tabla se muestran los valores de temperatura de la cara fría del horno medidos con la pistola Fluke 62 MAX+

Hora	1	2	3	prom
08:00	Inicio	--	--	--
08:30	24,7	24,8	25,1	24,8667
08:45	36,8	41,0	43,0	40,2667
09:00	66,8	68,9	66,0	67,2333
09:15	96,6	111,3	124,1	110,6667
09:30	121,1	132,3	146,1	133,1667
09:45	140,5	169,8	176,3	162,2000
10:00	201,5	189,6	218,6	203,2333
10:15	--	--	--	--
10:30	--	--	--	--
10:45	264,6	282,4	262,6	269,8667
11:00	--	--	--	
11:15	Fin	Comienzo de llenado de moldes		

Mediciones de temperatura cara fría 27/09/2024				
En esta tabla se muestran los valores de temperatura de la cara fría del horno medidos con la pistola BTMETER BT-1500C				
Hora	1	2	3	prom
08:00	Inicio	--	--	--
08:20	30,4	37,8	34,3	34,1667
08:35	52,5	64,9	59,6	59,0000
08:50	88,5	96,4	89,8	91,5667
09:05	116,2	127,7	125,0	122,9667
09:20	132,8	150,4	187,4	156,8667
09:35	152,4	186,5	201,6	180,1667
09:50	215,4	250,8	242,0	236,0667
10:05	268,4	265,3	271,6	268,4333
10:20	280,9	275,0	237,5	264,4667
10:35	255,7	290,4	239,5	261,8667
10:45	271,7	279,3	271,7	274,2333
10:45	Fin	Comienzo de llenado de moldes		

Mediciones de temperatura cara fría tapa 27/09/2024				
En esta tabla se muestran los valores de temperatura de la cara fría de la tapa medidos con la pistola BTMETER BT-1500C				
Hora	1	2	3	prom
08:00	Inicio	--	--	--
08:20	--	--	--	--
08:35	231,5	167,6	199,6	199,5667
08:50	193,5	357,7	205,6	252,2667
09:05	226,4	252,4	218,9	232,5667
09:20	259,8	184,8	187,2	210,6000
09:35	586,3	588,4	586,3	587,0000
09:50	328,9	454,2	365,0	382,7000
10:05	423,9	362,1	537,4	441,1333
10:20	282,4	450,9	415,8	383,0333
10:35	437,8	437,8	426,3	433,9667
10:45	--	--	--	--
10:45	Fin	Comienzo de llenado de moldes		

Mediciones de temperatura cara caliente 27/09/2024				
En esta tabla se muestran los valores de temperatura de la cara caliente del horno medidos con la pistola BTMETER BT-1500C				
Hora	1	2	3	prom
08:00	--	--	--	--
08:20	--	--	--	--
08:35	1070,0	1100,0	1103,0	1091,0000
08:50	1325,0	1227,0	1224,0	1258,6667
09:05	1241,0	1235,0	1246,0	1240,6667
09:20	1267,0	1314,0	1340,0	1307,0000
09:35	1314,0	1308,0	1011,0	1211,0000
09:50	1326,0	1329,0	1154,0	1269,6667
10:05	1291,0	1047,0	1356,0	1231,3333
10:20	1016,0	1203,0	1154,0	1124,3333
10:35	913,7	1125,0	1143,0	1060,5667
10:45	1086,0	1067,0	1176,0	1109,6667
10:45	Fin. Comienzo de llenado de moldes			

En esta tabla se muestra un resumen del promedio de los valores de las mediciones de temperatura del horno					
Tiempo	prom (°C)	Tiempo	prom (°C)	prom (°C)	prom (°C)
0 min	Inicio	0 min	24,0000	24,0000	24,0000
30 min	24,8667	20 min	34,1667	--	--
45 min	40,2667	35 min	59,0000	199,5667	1091,0000
60 min	67,2333	50 min	91,5667	252,2667	1258,6667
75 min	110,6667	65 min	122,9667	232,5667	1240,6667
90 min	133,1667	80 min	156,8667	210,6000	1307,0000
105 min	162,2000	95 min	180,1667	587,0000	1211,0000
120 min	203,2333	110 min	236,0667	382,7000	1269,6667
135 min	--	125 min	268,4333	441,1333	1231,3333
150 min	--	140 min	264,4667	383,0333	1124,3333
165 min	269,8667	155 min	261,8667	433,9667	1060,5667
180 min	--	170 min	274,2333	--	1109,6667
195 min	Fin	170 min	Fin		
Promedio	126,4375	Promedio	164,4833	314,6833	1084,3545

Hoja de "Req Energ Bronce, horno, crisol"

Cantidad de calor para fundir el bronce		
$C_{p\text{bronce}}=$	385	J/kg°C
$L_{f\text{bronce}}=$	240000	J/kg
$C_{p\text{bronce(l)}}=$	385	J/kg°C
$T_{\text{fusión}}=$	976,6667	°C
$T_{\text{inicial}}=$	24	°C
$T_{\text{colada}}=$	1204,4444	°C
$Q_{Cp}=$	366776,6667	J/kg
$Q_{Lf}=$	240000	J/kg
$Q_{Cp(l)}=$	87694,44444	J/kg
$Q_{\text{Total}}=$	694471,1111	J/kg
req.energ_{bronce}=	694,4711	kJ/kg
req.energ_{100kg.bronce}=	69447,11111	kJ

En esta tabla, se calcula la cantidad de energía que necesita el bronce para llegar a la temperatura de fusión (976,6667°C), además la cantidad de energía que necesita para pasar de estado sólido a líquido, y por último, para pasar de la temperatura de fusión a la temperatura de colada (1204,4444°C)

Aceite Quemado		
$P.C_{\text{aceite.quemado}}=$	38372,9333	kJ/L
$\rho_{\text{aceite.quemado}}=$	0,8527	kg/L
$\text{Consumo}_{\text{aceite.quemado}}=$	0,0181	$L_{\text{aceite}}/\text{kg}_{\text{bronce}}$
Combustible total para fundir 100kg de bronce		
Consumo_{total.aceite.quemado}=	1,8098	$L_{\text{aceite.quemado}}$

En esta tabla se calcula la cantidad de litros de aceite quemado que se necesitan quemar para obtener la energía que se necesita para fundir el bronce

Gas LPG		
$P.C_{\text{gas.LPG}}=$	25680	kJ/L
$\rho_{\text{gas.LPG}}=$	558,25	kg/L
$\text{Consumo}_{\text{gas.LPG}}=$	0,0270	$L_{\text{gasLPG}}/\text{kg}_{\text{bronce}}$
Combustible total para fundir 100kg de bronce		
Consumo_{total.gas.LPG}=	2,7043	$L_{\text{total.gas.LPG}}$

En esta tabla se calcula la cantidad de litros de gas LPG que se necesitan quemar para obtener la energía que se necesita para fundir el bronce

Cantidad de calor para calentar el horno		
$r_1=$	0,2848	m
$r_2=$	0,4138	m
$L=$	0,4700	m
$V_{\text{horno}}=$	0,1331	m^3
$V_{\text{tapa}}=$	0,0520	m^3
$V_{\text{base}}=$	0,0337	m^3
$\rho_{\text{ladrillos}}=$	2050	kg/m^3
$m_{\text{horno}}=$	448,4762	kg_{horno}
$T_i=$	24	$^{\circ}\text{C}$
$T_f=$	1200	$^{\circ}\text{C}$
$C_{p\text{ladrillos}}=$	960	$\text{J}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$
$\Delta T=$	1176	$^{\circ}\text{C}$
$Q_{\text{calentar.horno}}=$	506311,7244	kJ
$L_{\text{aceite}}=$	13,1945	L_{aceite}
$L_{\text{gas.LPG}}=$	19,7162	$L_{\text{gas.LPG}}$

En esta tabla se calcula la cantidad de energía que se necesita para calentar el horno hasta la temperatura de colada, y también se calcula la cantidad de litros de aceite quemado y gas LPG que se necesitan quemar para obtener esta energía

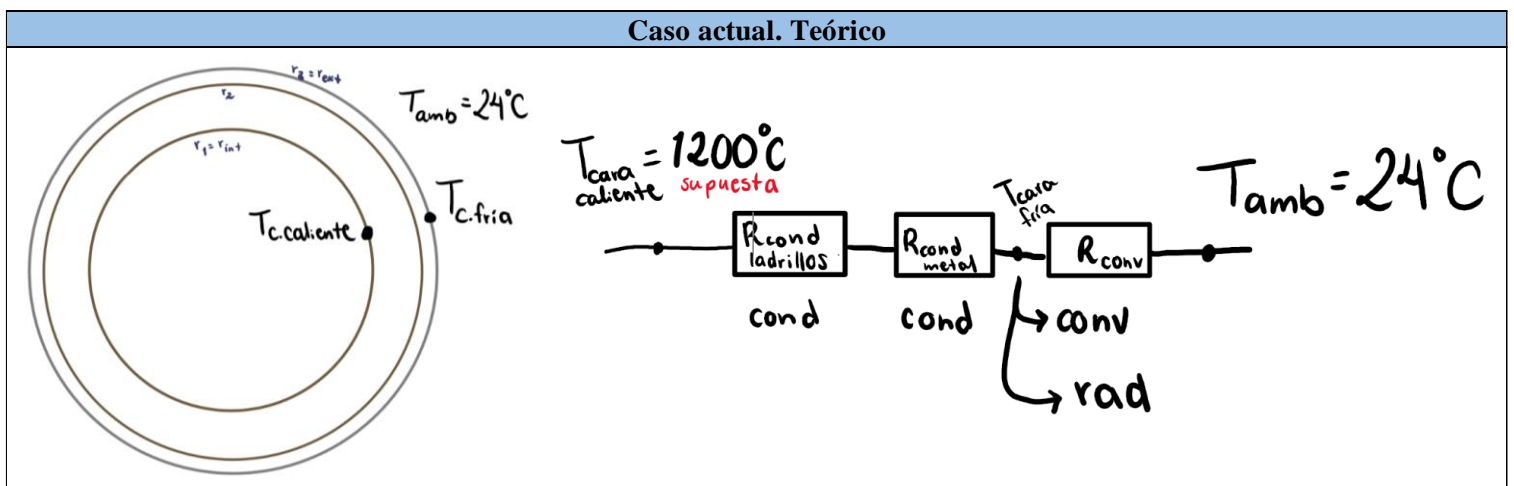
Cantidad de calor para calentar el crisol		
$m_{\text{crisol}}=$	31,0000	$\text{kg}_{\text{crisol}}$
$T_i=$	24	$^{\circ}\text{C}$
$T_f=$	1200	$^{\circ}\text{C}$
$C_{p\text{crisol}}=$	700	$\text{J}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$
$\Delta T=$	1176	$^{\circ}\text{C}$
$Q_{\text{calentar.crisol}}=$	25519,2000	kJ
$L_{\text{aceite}}=$	0,6650	L_{aceite}
$L_{\text{gas.LPG}}=$	0,9937	$L_{\text{gas.LPG}}$

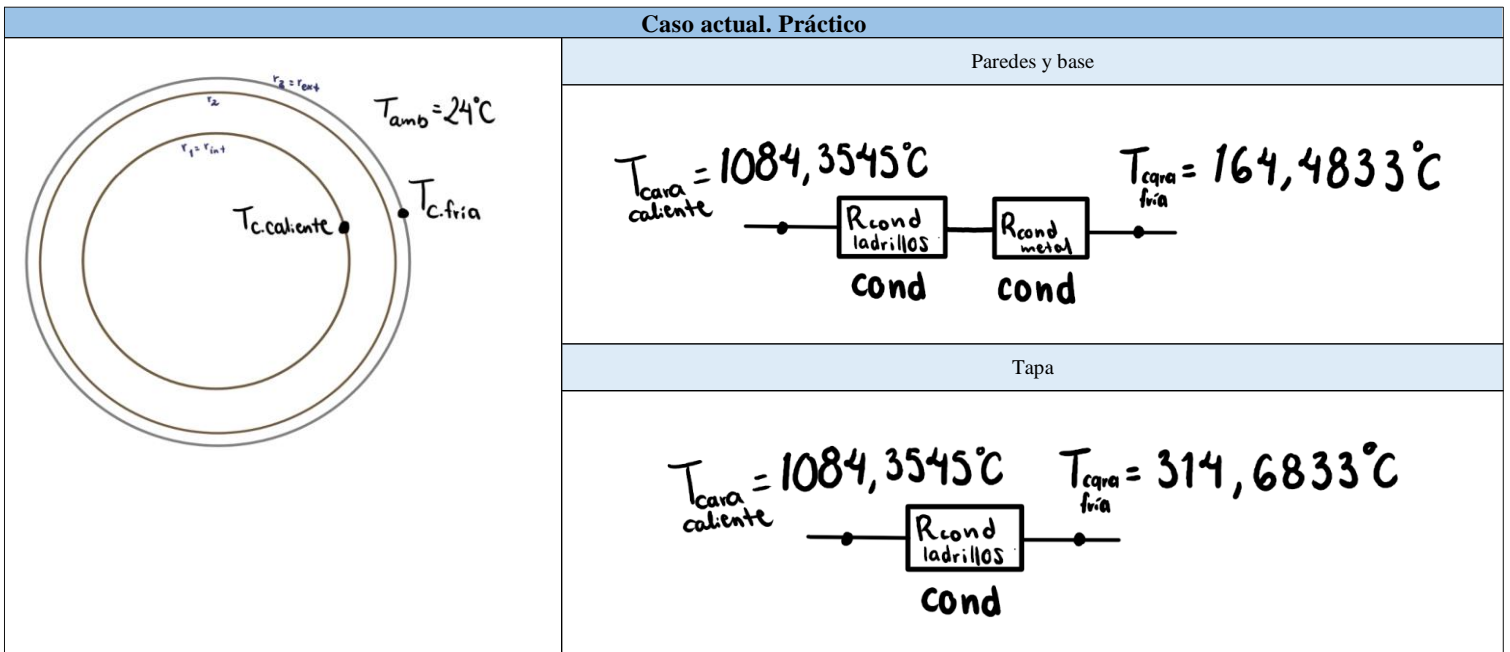
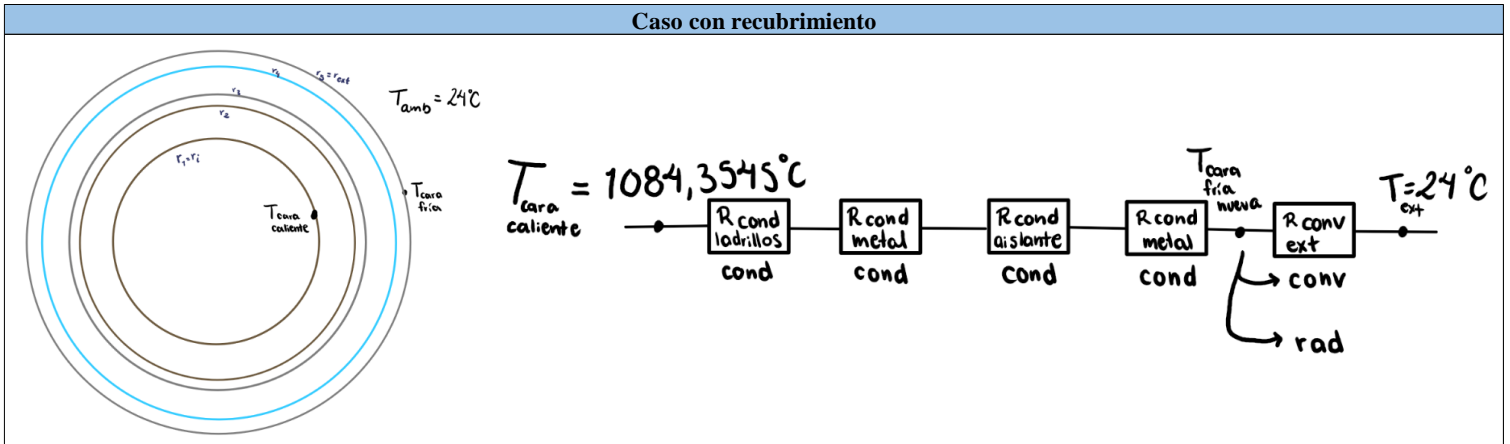
En esta tabla se calcula la cantidad de energía que se necesita para calentar el crisol hasta la temperatura de colada, y también se calcula la cantidad de litros de aceite quemado y gas LPG que se necesitan quemar para obtener esta energía

En estas tablas se encuentran los principales resultados de esta hoja de Excel			
100 kg de bronce	req.energ100kg.bronce=	69447,11111	kJ
	Laceite=	1,8098	L
	Lgas.LPG=	2,7043	L
Calentar horno	Qcalentar.horno=	506311,7244	kJ
	Laceite=	13,1945	L
	Lgas.LPG=	19,7162	L
Calentar crisol	Qcalentar.crisol=	25519,2000	kJ
	Laceite=	0,6650	L
	Lgas.LPG=	0,9937	L
Total	Q=	601278,0355	kJ
	Laceite=	15,6693	L
	Lgas.LPG=	23,4143	L

Hoja de “Diagramas de resistencias”

En las siguientes figuras se muestra el diagrama de resistencia del caso actual para el cálculo teórico, del caso actual para el cálculo práctico y del caso del horno con recubrimiento.





Hoja de "Cálculos teóricos HF"

FIGURA 1-18
Interacciones energéticas en la superficie exterior de la pared de una casa.

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad}$$

$$\frac{T_{sup.int} - T_{sup.ext}}{R_{cond}} = \frac{T_{sup.ext} - T_{amb}}{R_{conv}} + \epsilon \sigma A_s (T_{sup.ext}^4 - T_{amb}^4)$$

$$\frac{T_{sup.int}}{R_{cond}} - \frac{T_{sup.ext}}{R_{cond}} = \frac{T_{sup.ext}}{R_{conv}} - \frac{T_{amb}}{R_{conv}} + \epsilon \sigma A_s T_{sup.ext}^4 - \epsilon \sigma A_s T_{amb}^4$$

Para calcular la temperatura teórica de la cara fría del horno, se utiliza esta ecuación, donde se conocen **todas las variables**, menos la temperatura de la **cara fría**

Paredes		
$T_{\text{int.sup.f}}=$	1200	$^{\circ}\text{C}$
$T_{\text{amb}}=$	24	$^{\circ}\text{C}$
$h_{\text{c.ext.f.teórico}}=$	10	$\text{W}/\text{m}^2\text{C}$
$k_{\text{ladrillos}}=$	1,69	$\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$
$k_{\text{hierro}}=$	26,9	$\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$
$r_1=$	0,2848	m
$r_2=$	0,4138	m
$r_3=$	0,4168	m
$H=$	0,4700	m
$R_{\text{cond.ladrillos}}=$	0,0749	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
$R_{\text{cond.metal}}=$	0,0001	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
$R_{\text{conv.ext}}=$	0,0812	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$

En esta tabla se calculan las resistencias de conducción y convección del horno de fundición, utilizando las fórmulas de resistencia, la temperatura interna teórica, la temperatura ambiente, el coeficiente de convección externa teórico y las conductividades térmicas de los materiales que componen el horno

Paredes		
$\sigma=$	5,67E-08	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4$
$\epsilon_{\text{metal}}=$	0,94	
$A_s=$	1,2309	m^2
<p>En esta tabla se colocan los valores necesarios para calcular el flujo de calor por conducción de las paredes del horno</p>		

		Cálculo de temperatura superficial teórica externa					
		<p>En estas tablas se muestra el cálculo de todos los términos de la ecuación descrita arriba, para a continuación sumar todos los términos con $T_{sup.ext}$, todos los términos sin variable y el término con $T_{sup.ext}^4$, para formar la siguiente ecuación.</p> <p>Al ser una ecuación de 4 grado, se consideró obtener una aproximación utilizando el método de Newton-Raphson.</p>	$R_{cond} =$	0,0749	K/W		
$R_{conv} =$	0,0812		K/W				
$\epsilon \sigma A_s =$	6,5607E-08		W/K ⁴				
$T_{sup.int} =$	1473,1500		K				
$T_{amb} =$	297,1500		K				
$T_{sup.int}/R_{cond} =$	19657,3432		W				
$T_{amb}/R_{conv} =$	3657,7659		W				
$\epsilon \sigma A_s * T_{amb}^4 =$	511,5099		W				
$1/R_{cond} =$	13,3437		W/K				
$1/R_{conv} =$	12,3095		W/K				
Ecuación							
6,5607E-08	T^4	+	25,6532	T	+	-23826,6190	= 0
Derivada							
2,6243E-07	T^3	+	25,6532	+	0	= 0	

Empleando el método de Newton-Raphson

Para $x_i = 100$				
Iteración	x_i	$f(x_i)$	$f'(x_i)$	ϵ_a
1	100	-2,1255E+04	2,5916E+01	.
2	920,1499	4,6809E+04	2,3010E+02	89,1322
3	716,7222	1,1872E+04	1,2227E+02	28,3831
4	619,6283	1,7400E+03	8,8085E+01	15,6697
5	599,8751	5,7728E+01	8,2302E+01	3,2929
6	599,1737	6,9635E-02	8,2104E+01	0,1171
7	599,1728	1,0166E-07	8,2104E+01	1,42E-04
8	599,1728	0,0000E+00	8,2104E+01	2,07E-10
9	599,1728	0,0000E+00	8,2104E+01	0,00E+00

En esta tabla se muestra el resultado de la temperatura de la cara fría teórico obtenido	$T_{sup.ext} =$	599,1728	K
	$T_{sup.ext} =$	326,0228	°C

Cálculo de pérdida de calor teórica por las paredes				
$Q_{perd.pared.F.cond} =$	11662,1317	W	1,0941	Laceite.quemado
$Q_{perdidas.paredes.F.conv} =$	3717,7479	W	0,3488	Laceite.quemado
$Q_{perdidas.paredes.F.radt} =$	7944,3838	W	0,7453	Laceite.quemado

Hoja de “Cálculos prácticos HF”

Paredes			En esta tabla se calculan las resistencias de conducción horno de fundición, utilizando las fórmulas de resistencia, la temperatura de la cara caliente y fría promedio medidas, y las conductividades térmicas de los materiales que componen el horno, y se muestra el cálculo del flujo de calor por la pared del horno
$T_{sup.int} =$	1084,3545	°C	
$T_{sup.ext} =$	164,4833	°C	
$k_{ladrillos} =$	1,69	W/m°C	
$k_{hierro} =$	26,9	W/m°C	
$r_1 =$	0,2848	m	
$r_2 =$	0,4138	m	
$r_3 =$	0,4168	m	
$H =$	0,4700	m	
$R_{cond.ladrillos} =$	0,0749	°C/W	
$R_{cond.metal} =$	0,0001	°C/W	
$R_{total} =$	0,0749	°C/W	
$Q_{perdidas.paredes} =$	12274,5302	W=1J/s	
$Q_{perdidas.total.paredes} =$	12,2745	kW	
$L_{aceite} =$	1,1515	L/h	

Base			En esta tabla se calculan las resistencias de conducción horno de fundición, utilizando las fórmulas de resistencia, la temperatura de la cara caliente y fría promedio medidas, y las conductividades térmicas de los materiales que componen el horno, y se muestra el cálculo del flujo de calor por la base del horno
$T_{sup.int} =$	1084,3545	°C	
$T_{sup.ext} =$	164,4833	°C	
$k_{ladrillos} =$	1,69	W/m°C	
$k_{hierro} =$	26,9	W/m°C	
$e_1 =$	0,0627	m	
$e_2 =$	0,0030	m	
$A =$	0,5380	m ²	
$R_{cond.ladrillos} =$	0,0689	°C/W	

Continuación de la tabla

R_{cond.metal} =	0,0002	°C/W
R_{total} =	0,0691	°C/W
Q _{perdidas.base.F.cond} =	13306,8030	W=1J/s
Q_{perdidas.base.F} =	13,3068	kW
L_{comb.perd.F} =	1,2484	L/h

Tapa Sólida		
T_{sup.int} =	1084,3545	°C
T_{sup.ext} =	314,6833	°C
k _{ladrillos} =	1,69	W/m°C
e ₁ =	0,1227	m
A=	0,4237	m ²
R_{cond.ladrillos} =	0,1713	°C/W
R_{total} =	0,1713	°C/W
Q _{perdidas.tapa.F.cond} =	4492,9177	W=1J/s
Q_{perdidas.tapa1.F} =	4,4929	kW
L_{comb.perd.F} =	0,4215	L/h

En esta tabla se calculan las resistencias de conducción horno de fundición, utilizando las fórmulas de resistencia, la temperatura de la cara caliente y fría promedio medidas, y las conductividades térmicas de los materiales que componen el horno, y se muestra el cálculo del flujo de calor por la tapa del horno

Q _{perdidas.tapa.F.cond} =	30074,2509	W=1J/s	Para simplificar los cálculos, se realizaron los cálculos con las temperaturas promedio de todo el proceso de fundición, por lo cual se obtiene un valor de pérdidas de calor promedio para las 3 h del proceso de fundición
Q_{perdidas.total} =	30,0743	kW	
L_{perd.aceite} =	2,8214	Laceite/h	
L_{perd.gas} =	4,2160	Lgas/h	

En estas tablas se encuentran los principales resultados de esta hoja de Excel			
Paredes	$Q_{\text{pérdidas.total.paredes.F}}=$	12,2745	kW
	$L_{\text{aceite}}=$	1,1515	L/h
Base	$Q_{\text{pérdidas.base.F}}=$	13,3068	kW
	$L_{\text{aceite}}=$	1,2484	L/h
Tapa	$Q_{\text{pérdidas.tapa.F}}=$	4,4929	kW
	$L_{\text{aceite}}=$	0,4215	L/h
Total	$Q_{\text{pérdidas}}=$	30,0743	kW
	$L_{\text{aceite}}=$	2,8214	L/h
	$L_{\text{aceite en 3 h}}=$	8,4643	L
	$L_{\text{gasLPG}}=$	4,2160	L/h
	$L_{\text{gasLPG en 3 h}}=$	12,6480	L

Hoja de “Relación Aire-Aceite quemado”

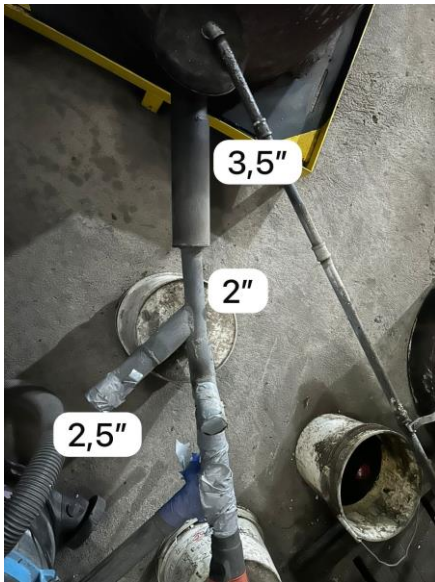
Aire estequiométrico	
$C + O_2 + \frac{79}{21}N_2 \rightarrow CO_2 + \frac{79}{21}N_2$	
Reacción de combustión	
$H_2 + \frac{1}{2}O_2 + \left(\frac{1}{2}\right)\frac{79}{21}N_2 \rightarrow H_2O + \left(\frac{1}{2}\right)\frac{79}{21}N_2$	

Composición aceite quemado	
84	%C
14	%H ₂
Para un 1 kg de aceite quemado 1000 g $840 \text{ g de C} / 12 \text{ g/mol} = 70 \text{ moles de C/kg}_{\text{aceite quemado}}$ $140 \text{ g de H}_2 / 2 \text{ g/mol} = 70 \text{ moles de H}_2/\text{kg}_{\text{aceite quemado}}$	
3. Fuels of internal combustion engine Gasoline and diesel fuels, which are derivatives of crude oil, are generally used in internal combustion engines. The approximate elemental structure of an average crude oil consists of 84% carbon, 14% hydrogen, 1–3% sulfur, and less than 1% nitrogen, oxygen atoms, metals, and salts. Crude oil consists of a wide range of hydrocarbon compounds consisting of alkanes, alkenes, naphthenes, and aromatics. These are very small molecular structures such as propane (C ₃ H ₈) and butane (C ₄ H ₁₀) but can also be composed of mixtures of various structures with very large	

Cálculos de Aire Estequiométrico	
Para quemar el carbono	
C + O ₂	+ (79/21)N ₂ → CO ₂ + (79/21)N ₂
70 + 70	+ 263,3333 → 70 + 263,3333
Para quemar el H ₂	
H ₂ + (1/2)O ₂	+ (1/2)(79/21)N ₂ → H ₂ O + (1/2)(79/21)N ₂
70 + 35	+ 131,6667 → 70 + 131,6667

En las primeras 3 tablas, se calcula la cantidad de moles estequiométricos para la reacción de combustión del aceite quemado

Cálculo de Caudal									
70	mol de O ₂ +	263,3333	mol de N ₂ +	Exceso= 15,00%	35	mol de O ₂ +	131,6667	mol de N ₂ =	500,0000 mol de aire
Aire con exceso									
500,0000	mol de aire +	500,0000	mol de aire x	0,15	exceso=	575,0000 mol de aire total			
Según la Ley de Avogadro, 1 mol de gas ideal ocupa un volumen de 22,4L									
Suponiendo que se desarrolla a presión normal y para 1 kg de aceite quemado									
575,0000	mol de aire total x	22,4	L/mol aire =	12880,0000	L aire x	$\frac{1}{1000}$	m ³	=	12,8800 m ³ /kg _{aceite quemado}
Actual									
12,8800	m ³ / kg _{aceite quemado} x	0,8527	kg/L =	10,9832 m³ de aire/ L_{aceite quemado}				12,6180 L _{aceite quemado} /h	
10,9832	m ³ de aire/ L _{aceite quemado} x	12,618	L _{aceite quemado} /h=	138,5858 m³ de aire/ h					
En este cuadro se calcula la cantidad de aire estequiométrico necesario para realizar una combustión completa del combustible, con un 15% de exceso de aire, utilizando la cantidad de moles de aire calculado en las tablas anteriores y utilizando relaciones de conversión para obtener un caudal de aire									



Caudal de sopladora anaranjada		
2"	0,0508	m
Diámetro=	0,0508	m
Radio=	0,0254	m
A _t =	0,0020	m ²
V _{soplador} =	230,0000	millas por hora
V _{soplador} =	370148	m/h
Caudal=	750,2274	m³/h
Caudal=	12,5038	m³/min
Combustible actual=	12,6180	L _{aceite quemado} /h
Aire/combustible	59,4569	m³_{aire}/ L_{aceite quemado}

En esta tabla se calcula el caudal de aire utilizado actualmente y se calcula la relación aire/combustible utilizada actualmente. Se calcula utilizando el diámetro de la tubería del soplador anaranjado, y el valor de velocidad del soplador (230 millas por hora). Este cálculo no se realiza para el soplador celeste debido a que faltan los datos de la velocidad de este.

Tabla resumen

En estas tablas se encuentran los principales resultados de esta hoja de Excel

	Teórico		Actual	
Aire/combustible	10,9832	m ³ _{aire} / L _{aceite quemado}	59,4569	m ³ _{aire} / L _{aceite quemado}
Para 12,6180 L/h actuales	138,5858	m ³ _{aire} / h	750,2274	m ³ _{aire} / h

Hoja de “Cálculos Aislante”

En estas tablas se muestran los valores térmicos de los recubrimientos, junto con el cálculo de la cantidad de vueltas que se podrían dar al horno aproximadamente

Fibra cerámica			Fibra cerámica		
Aislamiento industrial			Agencias Vibo		
$k_{\text{aisl}}=$	0,09	W/m°C	$k_{\text{aisl}}=$	0,09	W/m°C
$h_{\text{ext.f.teórico}}=$	10,00	W/m ² °C	$h_{\text{ext.f.teórico}}=$	10,00	W/m ² °C
$\rho_{\text{recubrimiento}}=$	128	kg/m ³	$\rho_{\text{recubrimiento}}=$	128	kg/m ³
$C_{p\text{recubrimiento}}=$	1100	J/kg.°C	$C_{p\text{recubrimiento}}=$	1100	J/kg.°C
$R_{\text{critico}}=$	0,009	m	$R_{\text{critico}}=$	0,009	m
$R_{\text{critico}}=$	0,900	cm	$R_{\text{critico}}=$	0,900	cm
$H=$	3,3	m	$L=$	7,62	m
$\text{Ancho}=$	60	cm	$\text{Ancho}=$	60	cm
	1,2600	vueltas		2,9095	vueltas
$e_{\text{aislante}}=$	2	in	$e_{\text{aislante}}=$	1	in
$e_{\text{aislante}}=$	5,08	cm	$e_{\text{aislante}}=$	2,54	cm

Cantidad de calor para calentar el horno con aislante		
$r_1=$	0,2848	m
$r_2=$	0,4138	m
$e_{\text{aislante}}=$	0,0508	m
$L=$	0,4700	m
$V_{\text{horno}}=$	0,1331	m ³
$V_{\text{tapa}}=$	0,0520	m ³
$V_{\text{base}}=$	0,0337	m ³
$\rho_{\text{ladrillos}}=$	2050,0000	kg/m ³
$m_{\text{horno}}=$	448,4762	kg_{horno}
$V_{\text{horno}}=$	0,0659	m ³
$V_{\text{tapa}}=$	0,0002	m ³
$V_{\text{base}}=$	0,0003	m ³
$\rho_{\text{aislante}}=$	128,0000	kg/m ³

En esta tabla se calcula la cantidad de energía que se necesita para calentar el horno hasta la temperatura de colada, cuánto se necesita para calentar la capa de aislamiento, y también se calcula la cantidad de litros de aceite quemado y gas LPG que se necesitan quemar para obtener esta energía

Continuación de la tabla

m_{aislante}=	8,4968	kg_{horno}
T _i =	24	°C
T _f =	1200	°C
C _p _{ladrillos} =	960	J/kg.°C
C _p _{aislante} =	1100	J/kg.°C
ΔT=	1176	°C
Q _{ladrillos} =	506311,7244	kJ
Q _{aislante} =	10991,4473	kJ
Q_{calentar.horno}=	517303,1717	kJ
L_{comb}=	13,4809	L_{aceite}
L_{comb}=	20,1442	L_{gas}

En las siguientes 3 tablas se calculan las primeras dos resistencias de conducción horno de fundición, utilizando las fórmulas de resistencia y las conductividades térmicas de los materiales que componen el horno, para la pared, la base y la tapa.

Paredes		
T _{sup.int} =	1084,3545	°C
T _{amb} =	24	°C
h _{c.ext.f.teórico} =	10,00	W/m ² °C
k _{ladrillos} =	1,69	W/m°C
k _{hierro} =	26,9	W/m°C
k _{aisl} =	0,09	W/m°C
k _{metal} =	26,9	W/m°C
r ₁ =	0,2848	m
r ₂ =	0,4138	m
r ₃ =	0,4168	m
H=	0,4700	m
R_{cond.ladrillos}=	0,0749	°C/W
R_{cond.metal}=	0,0001	°C/W
R_{conv.ext}=	0,0720	°C/W

Base		
$T_{int.f} =$	1084,3545	°C
$k_{ladrillos} =$	1,69	W/m°C
$k_{hierro} =$	26,9	W/m°C
$k_{aisl} =$	0,09	W/m°C
$k_{metal} =$	26,9	W/m°C
$e_1 =$	0,0627	m
$e_2 =$	0,0030	m
$e_3 =$	0,0508	m
$e_4 =$	0,0030	m
$A =$	0,5380	m ²
$R_{conv.ext} =$	0,1859	°C/W
$R_{cond.ladrillos} =$	0,0689	°C/W
$R_{cond.metal} =$	0,0002	°C/W

Tapa Solida		
$T_{int.f} =$	1084,3545	°C
$k_{ladrillos} =$	1,69	W/m°C
$k_{aisl} =$	0,09	W/m°C
$k_{metal} =$	26,9	W/m°C
$e_1 =$	0,1226667	m
$e_2 =$	0,0508	m
$e_3 =$	0,0030	m
$e_4 =$	0,0030	m
$A =$	0,4237	m ²
$R_{conv.ext} =$	0,2360	°C/W
$R_{cond.ladrillos} =$	0,1713	°C/W
$R_{cond.metal} =$	0,0003	°C/W

Paredes

	1	in	2	in	En esta tabla se calculan las dos resistencias de conducción del recubrimiento para las paredes para un espesor de 1" y 2".
r_4	0,4422	m	0,4676	m	
r_5	0,4452	m	0,4706	m	
A_s =	1,3148	m ²	1,3898	m ²	
R_{total} =	0,2976	°C/W	0,5077	°C/W	

1":

En estas tablas se muestra el cálculo de todos los términos de la ecuación descrita arriba, para a continuación sumar todos los términos con $T_{sup,ext}$, todos los términos sin variable y el término con $T_{sup,ext}^4$, para formar la siguiente ecuación. Al ser una ecuación de 4 grado, se consideró obtener una aproximación utilizando el método de Newton-Raphson.	Cálculo de temperatura superficial teórica externa de las paredes 1"				
	R_{cond} =	0,2976	K/W		
	R_{conv} =	0,0761	K/W		
	$\epsilon\sigma A_s$ =	7,0077E-08	W/K ⁴		
	$T_{sup,int}$ =	1357,5045	K		
	T_{amb} =	297,1500	K		
	$T_{sup,int}/R_{cond}$ =	4561,7438	W		
	T_{amb}/R_{conv} =	3906,9795	W		
	$\epsilon\sigma A_s * T_{amb}^4$ =	546,3604	W		
	$1/R_{cond}$ =	3,3604	W/K		
$1/R_{conv}$ =	13,1482	W/K			
Ecuación	7,0077E-08	T^4 +	16,5086	T +	-9015,0837 = 0
Derivada	2,8031E-07	T^3 +	16,5086	+	0 = 0

Empleando el método de Newton-Raphson

Para $x_i = 100$				
Iteración	x_i	$f(x_i)$	$f'(x_i)$	ϵ_a
1	100	-7,3572E+03	1,6789E+01	.
2	538,2201	5,7507E+03	6,0212E+01	81,4202
3	442,7130	9,8541E+02	4,0831E+01	21,5731
4	418,5790	4,6278E+01	3,7066E+01	5,7657
5	417,3304	1,1461E-01	3,6883E+01	0,2992
6	417,3273	7,0710E-07	3,6882E+01	0,0007
7	417,3273	0,0000E+00	3,6882E+01	4,59E-09
8	417,3273	0,0000E+00	3,6882E+01	0,00E+00
9	417,3273	0,0000E+00	3,6882E+01	0,00E+00

$T_{sup,ext}$ =	417,3273	K
$T_{sup,ext}$ =	144,1773	°C

Cálculo de pérdida de calor teórica por las paredes					
$Q_{\text{perd.pared.F.cond}} =$	3159,3615	W	$L_{\text{aceite/h}} =$	0,2964	$L_{\text{aceite.quemado}}$
$Q_{\text{perdidas.paredes.F.conv}} =$	1580,1121	W	$L_{\text{aceite/h}} =$	0,1482	$L_{\text{aceite.quemado}}$
$Q_{\text{perdidas.paredes.F.rad}} =$	1579,2494	W	$L_{\text{aceite/h}} =$	0,1482	$L_{\text{aceite.quemado}}$

$Q_{\text{perdidas.paredes}} =$	3,1594	kW	$L_{\text{aceite/h}} =$	0,2964	L/h
$Q_{\text{perdidas.paredes.sin.aisl}} =$	12,2745	kW	$L_{\text{aceite/h}} =$	1,1515	L/h
$Q_{\text{perdidas.paredes/ahorrado}} =$	9,1152	kW	$L_{\text{aceite/h ahorrado}} =$	0,8551	L/h

1. En la primera tabla se muestra el valor de temperatura que tendría la cara fría de las paredes para el caso de un recubrimiento de 1".
2. En la segunda tabla se encuentra el cálculo de las pérdidas de calor por conducción del horno por las paredes.
3. En la tercera tabla se muestra el cálculo del ahorro que genera el recubrimiento de 1" en las pérdidas de calor y en el aceite quemado.

2”:

Cálculo de temperatura superficial teórica externa de las paredes 2"			
<p>En estas tablas se muestra el cálculo de todos los términos de la ecuación descrita arriba, para a continuación sumar todos los términos con $T_{\text{sup.ext}}$, todos los términos sin variable y el término con $T_{\text{sup.ext}}^4$, para formar la siguiente ecuación.</p> <p>Al ser una ecuación de 4 grado, se consideró obtener una aproximación utilizando el método de Newton-Raphson.</p>	$R_{\text{cond}} =$	0,5077	K/W
	$R_{\text{conv}} =$	0,0720	K/W
	$\epsilon \sigma A_s =$	7,4075E-08	W/K ⁴
	$T_{\text{sup.int}} =$	1357,5045	K
	$T_{\text{amb}} =$	297,1500	K
	$T_{\text{sup.int}}/R_{\text{cond}} =$	2673,8038	W
	$T_{\text{amb}}/R_{\text{conv}} =$	4129,8677	W
	$\epsilon \sigma A_s * T_{\text{amb}}^4 =$	577,5296	W
	$1/R_{\text{cond}} =$	1,9696	W/K
	$1/R_{\text{conv}} =$	13,8983	W/K
Ecuación			
7,4075E-08	$T^4 +$	15,8679	$T + -7381,2012 = 0$
Derivada			
2,9630E-07	$T^3 +$	15,8679	$+ 0 = 0$

Empleando el método de Newton-Raphson

Para $x_i = 100$				
Iteración	xi	f(xi)	f'(xi)	ϵ_a
1	100	-5,7870E+03	1,6164E+01	.
2	458,0135	3,1463E+03	4,4337E+01	78,1666
3	387,0502	4,2289E+02	3,3048E+01	18,3344
4	374,2540	1,0664E+01	3,1400E+01	3,4191
5	373,9143	7,1759E-03	3,1358E+01	0,0908
6	373,9141	3,2542E-09	3,1358E+01	0,0001
7	373,9141	0,0000E+00	3,1358E+01	2,78E-11
8	373,9141	0,0000E+00	3,1358E+01	0,00E+00
9	373,9141	0,0000E+00	3,1358E+01	0,00E+00

$T_{\text{sup.ext}} =$	373,9141	K
$T_{\text{sup.ext}} =$	100,7641	°C

Cálculo de pérdida de calor teórica por las paredes					
$Q_{\text{perd.pared.F.cond}}=$	1937,3252	W	$L_{\text{aceite/h}}=$	0,1818	$L_{\text{aceite.quemado}}$
$Q_{\text{perdidas.paredes.F.conv}}=$	1066,8876	W	$L_{\text{aceite/h}}=$	0,1001	$L_{\text{aceite.quemado}}$
$Q_{\text{perdidas.paredes.F.rad}}=$	870,4377	W	$L_{\text{aceite/h}}=$	0,0817	$L_{\text{aceite.quemado}}$

$Q_{\text{perdidas.paredes}}=$	1,9373	kW	$L_{\text{aceite/h}}=$	0,1818	L/h
$Q_{\text{perdidas.paredes.sin.aisl}}=$	12,2745	kW	$L_{\text{aceite/h}}=$	1,1515	L/h
$Q_{\text{perdidas.paredes/ahorrado}}=$	10,3372	kW	$L_{\text{aceite/h ahorrado}}=$	0,9698	L/h

1. En la primera tabla se muestra el valor de temperatura que tendría la cara fría de las paredes para el caso de un recubrimiento de 2".
2. En la segunda tabla se encuentra el cálculo de las pérdidas de calor por conducción del horno por las paredes.
3. En la tercera tabla se muestra el cálculo del ahorro que genera el recubrimiento de 2" en las pérdidas de calor y en el aceite quemado.

Base

	1	in	2	in	En esta tabla se calculan las dos resistencias de conducción del recubrimiento para la base para un espesor de 1" y 2".
$e_{\text{aisl}}=$	0,0254	m	0,0508	m	
$R_{\text{total}}=$	0,5939	°C/W	1,1184	°C/W	

1”:

<p>En estas tablas se muestra el cálculo de todos los términos de la ecuación descrita arriba, para a continuación sumar todos los términos con $T_{sup,ext}$, todos los términos sin variable y el término con $T_{sup,ext}^4$, para formar la siguiente ecuación.</p> <p>Al ser una ecuación de 4 grado, se consideró obtener una aproximación utilizando el método de Newton-Raphson.</p>		Cálculo de temperatura superficial teórica externa de la base 1"			
		$R_{cond} =$	0,5939	K/W	
		$R_{conv} =$	0,1859	K/W	
		$\epsilon\sigma A_s =$	2,8676E-08	W/K ⁴	
		$T_{sup,int} =$	1357,5045	K	
		$T_{amb} =$	297,1500	K	
		$T_{sup,int}/R_{cond} =$	2285,7868	W	
		$T_{amb}/R_{conv} =$	1598,7352	W	
		$\epsilon\sigma A_s * T_{amb}^4 =$	223,5706	W	
		$1/R_{cond} =$	1,6838	W/K	
$1/R_{conv} =$	5,3802	W/K			
Ecuación					
2,8676E-08	$T^4 +$	7,0640	$T +$	-4108,0926 = 0	
Derivada					
1,1470E-07	$T^3 +$	7,0640	$+ 0$	= 0	

Empleando el método de Newton-Raphson

Para $x_i = 100$				
Iteración	x_i	$f(x_i)$	$f'(x_i)$	ϵ_a
1	100	-3,3988E+03	7,1787E+00	.
2	573,4560	3,0439E+03	2,8695E+01	82,5619
3	467,3776	5,6179E+02	1,8775E+01	22,6965
4	437,4546	3,2238E+01	1,6666E+01	6,8402
5	435,5203	1,2283E-01	1,6539E+01	0,4441
6	435,5129	1,8000E-06	1,6539E+01	0,0017
7	435,5129	0,0000E+00	1,6539E+01	2,50E-08
8	435,5129	0,0000E+00	1,6539E+01	0,00E+00
9	435,5129	0,0000E+00	1,6539E+01	0,00E+00

$T_{sup,ext} =$	435,5129	K
$T_{sup,ext} =$	162,3629	°C

Cálculo de pérdida de calor teórica por la base					
$Q_{perd,base.F.cond} =$	1552,4636	W	$L_{aceite}/h =$	0,1456	$L_{aceite,quemado}$
$Q_{perdidas,base.F.conv} =$	744,4239	W	$L_{aceite}/h =$	0,0698	$L_{aceite,quemado}$
$Q_{perdidas,base.F.rad} =$	808,0397	W	$L_{aceite}/h =$	0,0758	$L_{aceite,quemado}$

1552,4636

$Q_{perdidas,base} =$	1,5525	kW	$L_{aceite}/h =$	0,1456	L/h
$Q_{perdidas,base.sin.aisl} =$	13,3068	kW	$L_{aceite}/h =$	1,2484	L/h
$Q_{perdidas,paredes}/ahorrado =$	11,7543	kW	L_{aceite}/h ahorrado =	1,1027	L/h

1. En la primera tabla se muestra el valor de temperatura que tendría la cara fría de la base para el caso de un recubrimiento de 1".
2. En la segunda tabla se encuentra el cálculo de las pérdidas de calor por conducción del horno por la base.
3. En la tercera tabla se muestra el cálculo del ahorro que genera el recubrimiento de 1" en las pérdidas de calor y en el aceite quemado.

2”:

En estas tablas se muestra el cálculo de todos los términos de la ecuación descrita arriba, para a continuación sumar todos los términos con $T_{sup,ext}$, todos los términos sin variable y el término con $T_{sup,ext}^4$, para formar la siguiente ecuación. Al ser una ecuación de 4 grado, se consideró obtener una aproximación utilizando el método de Newton-Raphson.		Cálculo de temperatura superficial teórica externa de la base 2"					
		$R_{cond} =$	1,1184		K/W		
		$R_{conv} =$	0,1859		K/W		
		$\epsilon\sigma A_s =$	2,8676E-08		W/K ⁴		
		$T_{sup,int} =$	1357,5045		K		
		$T_{amb} =$	297,1500		K		
		$T_{sup,int}/R_{cond} =$	1213,7443		W		
		$T_{amb}/R_{conv} =$	1598,7352		W		
		$\epsilon\sigma A_s * T_{amb}^4 =$	223,5706		W		
		$1/R_{cond} =$	0,8941		W/K		
$1/R_{conv} =$	5,3802		W/K				
Ecuación							
2,8676E-08	T^4	+	6,2743	T	+	-3036,0501	= 0
Derivada							
1,1470E-07	T^3	+	6,2743	+	0	= 0	

Empleando el método de Newton-Raphson

Para $x_i = 100$				
Iteración	xi	f(xi)	f'(xi)	ϵ_a
1	100	-2,4057E+03	6,3890E+00	.
2	476,5437	1,4328E+03	1,8687E+01	79,0156
3	399,8725	2,0604E+02	1,3608E+01	19,1739
4	384,7317	6,1490E+00	1,2806E+01	3,9354
5	384,2515	5,8666E-03	1,2782E+01	0,1250
6	384,2511	5,3510E-09	1,2782E+01	0,0001
7	384,2511	0,0000E+00	1,2782E+01	1,09E-10
8	384,2511	0,0000E+00	1,2782E+01	0,00E+00
9	384,2511	0,0000E+00	1,2782E+01	0,00E+00

$T_{sup,ext} =$	384,2511	K
$T_{sup,ext} =$	111,1011	°C

Cálculo de pérdida de calor teórica por la base					
$Q_{perd,base.F.cond} =$	870,1855	W	$L_{aceite}/h =$	0,0816	$L_{aceite,quemado}$
$Q_{perdidas,base.F.conv} =$	468,6237	W	$L_{aceite}/h =$	0,0440	$L_{aceite,quemado}$
$Q_{perdidas,base.F.rad} =$	401,5618	W	$L_{aceite}/h =$	0,0377	$L_{aceite,quemado}$

870,1855

$Q_{perdidas,base} =$	0,8702	kW	$L_{aceite}/h =$	0,0816	L/h
$Q_{perdidas,base.sin.aisl} =$	13,3068	kW	$L_{aceite}/h =$	1,2484	L/h
$Q_{perdidas,paredes}/ahorrado =$	12,4366	kW	L_{aceite}/h ahorrado =	1,1668	L/h

1. En la primera tabla se muestra el valor de temperatura que tendría la cara fría de la base para el caso de un recubrimiento de 2".
2. En la segunda tabla se encuentra el cálculo de las pérdidas de calor por conducción del horno por la base.
3. En la tercera tabla se muestra el cálculo del ahorro que genera el recubrimiento de 2" en las pérdidas de calor y en el aceite quemado.

Tapa

	1	in	2	in	En esta tabla se calculan las dos resistencias de conducción del recubrimiento para la tapa para un espesor de 1" y 2".
$\epsilon_{\text{aisl}}=$	0,0254	m	0,0508	m	
$R_{\text{totalcond}}=$	0,8379	°C/W	1,5040	°C/W	

1”:

<p>En estas tablas se muestra el cálculo de todos los términos de la ecuación descrita arriba, para continuación sumar todos los términos con $T_{\text{sup,ext}}$, todos los términos sin variable y el término con $T_{\text{sup,ext}}^4$, para formar la siguiente ecuación.</p> <p>Al ser una ecuación de 4 grado, se consideró obtener una aproximación utilizando el método de Newton-Raphson.</p>	Cálculo de temperatura superficial teórica externa de la tapa 1”						
	$R_{\text{cond}}=$	0,8379		K/W			
	$R_{\text{conv}}=$	0,2360		K/W			
	$\epsilon\sigma A_s=$	2,2583E-08		W/K ⁴			
	$T_{\text{sup,int}}=$	1357,5045		K			
	$T_{\text{amb}}=$	297,1500		K			
	$T_{\text{sup,int}}/R_{\text{cond}}=$	1620,0948		W			
	$T_{\text{amb}}/R_{\text{conv}}=$	1259,0379		W			
	$\epsilon\sigma A_s * T_{\text{amb}}^4=$	176,0666		W			
	$1/R_{\text{cond}}=$	1,1934		W/K			
$1/R_{\text{conv}}=$	4,2370		W/K				
Ecuación							
2,2583E-08	T^4	+	5,4305	T	+	-3055,1993	= 0
Derivada							
9,0330E-08	T^3	+	5,4305	+	0	= 0	

Empleando el método de Newton-Raphson

Para $x_i= 100$				
Iteración	xi	f(xi)	f'(xi)	ϵ_a
1	100	-2,5099E+03	5,5208E+00	.
2	554,6239	2,0935E+03	2,0841E+01	81,9698
3	454,1751	3,7207E+02	1,3893E+01	22,1167
4	427,3945	1,9269E+01	1,2483E+01	6,2660
5	425,8508	5,8836E-02	1,2406E+01	0,3625
6	425,8460	5,5263E-07	1,2406E+01	0,0011
7	425,8460	0,0000E+00	1,2406E+01	1,05E-08
8	425,8460	0,0000E+00	1,2406E+01	0,00E+00
9	425,8460	0,0000E+00	1,2406E+01	0,00E+00

$T_{\text{sup,ext}}=$	425,8460	K
$T_{\text{sup,ext}}=$	152,6960	°C

Cálculo de pérdida de calor teórica por la tapa					
$Q_{\text{perdtapa.F.cond}}=$	1111,8748	W	$L_{\text{aceite}}/h=$	0,1043	$L_{\text{aceite quemado}}$
$Q_{\text{perdtidas.tapa.F.conv}}=$	545,2909	W	$L_{\text{aceite}}/h=$	0,0512	$L_{\text{aceite quemado}}$
$Q_{\text{perdtidas.tapa.F.rad}}=$	566,5839	W	$L_{\text{aceite}}/h=$	0,0532	$L_{\text{aceite quemado}}$

1111,8748

$Q_{\text{perdtidas.tapa}}=$	1,1119	kW	$L_{\text{aceite}}/h=$	0,1043	L/h
$Q_{\text{perdtidas.tapa.sin.aisl}}=$	4,4929	kW	$L_{\text{aceite}}/h=$	0,4215	L/h
$Q_{\text{perdtidas.paredes}}/\text{ahorrado}=$	3,3810	kW	L_{aceite}/h ahorrado=	0,3172	L/h

1. En la primera tabla se muestra el valor de temperatura que tendría la cara fría de la tapa para el caso de un recubrimiento de 1”.
2. En la segunda tabla se encuentra el cálculo de las pérdidas de calor por conducción del horno por la tapa.
3. En la tercera tabla se muestra el cálculo del ahorro que genera el recubrimiento de 1” en las pérdidas de calor y en el aceite quemado.

2”:

<p>En estas tablas se muestra el cálculo de todos los términos de la ecuación descrita arriba, para a continuación sumar todos los términos con $T_{sup,ext}$, todos los términos sin variable y el término con $T_{sup,ext}^4$, para formar la siguiente ecuación.</p> <p>Al ser una ecuación de 4 grado, se consideró obtener una aproximación utilizando el método de Newton-Raphson.</p>	Cálculo de temperatura superficial teórica externa de la tapa 2"						
	$R_{cond} =$	1,5040		K/W			
	$R_{conv} =$	0,2360		K/W			
	$\epsilon \sigma A_s =$	2,2583E-08		W/K ⁴			
	$T_{sup,int} =$	1357,5045		K			
	$T_{amb} =$	297,1500		K			
	$T_{sup,int}/R_{cond} =$	902,5965		W			
	$T_{amb}/R_{conv} =$	1259,0379		W			
	$\epsilon \sigma A_s * T_{amb}^4 =$	176,0666		W			
	$1/R_{cond} =$	0,6649		W/K			
	$1/R_{conv} =$	4,2370		W/K			
Ecuación							
2,2583E-08	T^4	+	4,9019	T	+	-2337,7010	$= 0$
Derivada							
9,0330E-08	T^3	+	4,9019	+	0	$= 0$	

Empleando el método de Newton-Raphson

Para $x_i = 100$				
Iteración	x_i	$f(x_i)$	$f'(x_i)$	ϵ_a
1	100	-1,8452E+03	4,9923E+00	.
2	469,6212	1,0628E+03	1,4258E+01	78,7062
3	395,0813	1,4916E+02	1,0472E+01	18,8670
4	380,8379	4,1885E+00	9,8914E+00	3,7400
5	380,4145	3,5211E-03	9,8748E+00	0,1113
6	380,4141	2,4925E-09	9,8748E+00	0,0001
7	380,4141	0,0000E+00	9,8748E+00	6,63E-11
8	380,4141	0,0000E+00	9,8748E+00	0,00E+00
9	380,4141	0,0000E+00	9,8748E+00	0,00E+00

$T_{sup,ext} =$	380,4141	K
$T_{sup,ext} =$	107,2641	°C

Cálculo de pérdida de calor teórica por la tapa					
$Q_{\text{perd.tapa.F.cond}}=$	649,6614	W	$L_{\text{aceite/h}}=$	0,0609	$L_{\text{aceite.quemado}}$
$Q_{\text{perdidas.tapa.F.conv}}=$	352,7939	W	$L_{\text{aceite/h}}=$	0,0331	$L_{\text{aceite.quemado}}$
$Q_{\text{perdidas.tapa.F.rad}}=$	296,8675	W	$L_{\text{aceite/h}}=$	0,0279	$L_{\text{aceite.quemado}}$
649,6614					
$Q_{\text{perdidas.tapa}}=$	0,6497	kW	$L_{\text{aceite/h}}=$	0,0609	L/h
$Q_{\text{perdidas.tapa.sin.aisl}}=$	4,4929	kW	$L_{\text{aceite/h}}=$	0,4215	L/h
$Q_{\text{perdidas.paredes/ahorrado}}=$	3,8433	kW	$L_{\text{aceite/h ahorrado}}=$	0,3606	L/h
<p>1. En la primera tabla se muestra el valor de temperatura que tendría la cara fría de la tapa para el caso de un recubrimiento de 2".</p> <p>2. En la segunda tabla se encuentra el cálculo de las pérdidas de calor por conducción del horno por la tapa.</p> <p>3. En la tercera tabla se muestra el cálculo del ahorro que genera el recubrimiento de 2" en las pérdidas de calor y en el aceite quemado.</p>					

En estas tablas se encuentran los principales resultados de esta hoja de Excel					
Recubrimiento de 1"			Recubrimiento de 2"		
$T_{\text{sup.ext.paredes}}=$	144,1773	°C	$T_{\text{sup.ext.paredes}}=$	100,7641	°C
$Q_{\text{perd.paredes.F}}=$	3,1594	kW	$Q_{\text{perd.paredes.F}}=$	1,9373	kW
$L_{\text{aceite/h}}=$	0,2964	L/h	$L_{\text{aceite/h}}=$	0,1818	L/h
$Q_{\text{perd.paredes.F/ahorrado}}=$	9,1152	kW	$Q_{\text{perd.paredes.F/ahorrado}}=$	10,3372	kW
$L_{\text{aceite/h ahorrado}}=$	0,8551	L/h	$L_{\text{aceite/h ahorrado}}=$	0,9698	L/h
$T_{\text{sup.ext.base}}=$	162,3629	°C	$T_{\text{sup.ext.base}}=$	111,1011	°C
$Q_{\text{perd.base.F}}=$	1,5525	kW	$Q_{\text{perd.base.F}}=$	0,8702	kW
$L_{\text{aceite/h}}=$	0,1456	L/h	$L_{\text{aceite/h}}=$	0,0816	L/h
$Q_{\text{perd.base.F/ahorrado}}=$	11,7543	kW	$Q_{\text{perd.base.F/ahorrado}}=$	12,4366	kW
$L_{\text{aceite/h ahorrado}}=$	1,1027	L/h	$L_{\text{aceite/h ahorrado}}=$	1,1668	L/h
$T_{\text{sup.ext.tapa}}=$	152,6960	°C	$T_{\text{sup.ext.tapa}}=$	107,2641	°C
$Q_{\text{perd.tapa.F}}=$	1,1119	kW	$Q_{\text{perd.tapa.F}}=$	0,6497	kW
$L_{\text{aceite/h}}=$	0,1043	L/h	$L_{\text{aceite/h}}=$	0,0609	L/h
$Q_{\text{perd.tapa.F/ahorrado}}=$	3,3810	kW	$Q_{\text{perd.tapa.F/ahorrado}}=$	3,8433	kW
$L_{\text{aceite/h ahorrado}}=$	0,3172	L/h	$L_{\text{aceite/h ahorrado}}=$	0,3606	L/h
Total $Q_{\text{perd.F}}=$	5,8237	kW	Total $Q_{\text{perd.F}}=$	3,4572	kW
Total $L_{\text{aceite/h}}=$	0,5464	L/h	Total $L_{\text{aceite/h}}=$	0,3243	L/h
Total $L_{\text{gas/h}}=$	0,8164	L/h	Total $L_{\text{gas/h}}=$	0,4847	L/h
al $Q_{\text{perd.F/ahorrado}}=$	24,2506	kW	Total $Q_{\text{perd.F/ahorrado}}=$	26,6171	kW
al $L_{\text{aceite/h ahorrado}}=$	2,2751	L/h	Total $L_{\text{aceite/h ahorrado}}=$	2,4971	L/h
al $L_{\text{gasLPG/h ahorrado}}=$	3,3996	L/h	Total $L_{\text{gasLPG/h ahorrado}}=$	3,7314	L/h
al $L_{\text{aceite en 3 h ahorrado}}=$	6,8253	L	Total $L_{\text{aceite en 3 h ahorrado}}=$	7,4913	L
al $L_{\text{gasLPG en 3 h ahorrado}}=$	10,1988	L	Total $L_{\text{gasLPG en 3 h ahorrado}}=$	11,1941	L
Ahorro económico=	€3 606,11		Ahorro económico=	€3 958,01	

Hoja de "Cálculos quemador"

En la siguiente tabla se muestra el cálculo del nuevo valor de pérdidas de calor por los gases de combustión al colocar un nuevo quemador más eficiente, donde se espera que se reduzcan estas pérdidas de calor un 20%, y con esto, se calcula la capacidad que debe tener el quemador para poder suplir la energía que necesita el horno, esto para el caso del horno sin recubrimiento y para el caso del horno recubierto. Además, se calcula la eficiencia de los 4 casos: Actual, sin recubrimiento y con recubrimiento sin quemador nuevo, y sin recubrimiento y con recubrimiento con quemador nuevo. También se calcula la cantidad de combustible que representan estas energías.

Funcionamiento=	3 h			
	Sin recubrimiento		Recubierto	
$Q_{\text{pérdidas.paredes.F}}=$	12,2745	kW	1,9373	kW
$Q_{\text{pérdidas.base.F}}=$	13,3068	kW	0,8702	kW
$Q_{\text{pérdidas.tapa1.F}}=$	4,4929	kW	0,6497	kW
Total $Q_{\text{pérdidas.horno}}=$	30,0743	kW	3,4572	kW
$Q_{\text{calentar.horno}}=$	506311,7244	kJ	517303,1717	kJ
$Q_{\text{calentar.crisol}}=$	25519,2000	kJ	25519,2000	kJ
$\text{req.energ}_{100\text{kg.bronce}}=$	69447,1111	kJ	69447,1111	kJ
$Q_1=$	926079,9457	kJ	649606,9427	kJ
Combustible usado actual ($Q_{\text{total1}}=$)	1452569,0152	kJ	1176096,0123	kJ
$Q_{\text{Pérdidas gas.actual}}=$	526489,0695	kJ	526489,0695	kJ
$L_{\text{aceite.quemado}}=$	13,7203	L	13,7203	L
$L_{\text{gas}}=$	20,5019	L	20,5019	L
$\% Q_{\text{pérdidas.gases+ineficiencia del quemador}}=$	36,25%		44,77%	
$\% Q_{\text{pérdidas.paredes}}=$	22,36%		3,17%	
$\% Q_{\text{pérdidas.horno y crisol}}=$	36,61%		46,15%	
$\eta_{\text{actual}}=$	4,78%		5,90%	
	100,00%		100,00%	
Se espera que el $Q_{\text{pérdidas}}$ por los gases se reduzca un 0,2 con el quemador nuevo				
$Q_{\text{Pérdidas gas.nuevo}}=$	421191,2556	kJ	421191,2556	kJ
$L_{\text{aceite.quemado}}=$	10,9763	L	10,9763	L
$L_{\text{gas}}=$	16,4015	L	16,4015	L
Funcionamiento=	3	h	3	h
Combustible usado con quemador ($Q_{\text{total2}}=$)	1347271,2013	kJ	1070798,1984	kJ
$\% Q_{\text{pérdidas.gases}}=$	31,26%		39,33%	
$\% Q_{\text{pérdidas.paredes}}=$	24,11%		3,49%	
$\% Q_{\text{pérdidas.horno y crisol}}=$	39,47%		50,69%	
$\eta_{\text{con quemador}}=$	5,15%		6,49%	
	100,00%		100,00%	
Capacidad del quemador=	124747,3335	W	99147,9813	W
Capacidad del quemador=	124,7473	kW	99,1480	kW
Capacidad del quemador=	425388,4071	BTU/h	338094,6163	BTU/h
Capacidad del quemador=	425,3884	kBTU/h	338,0946	kBTU/h
Combustible usado con quemador ($Q_{\text{total2}}=$)	1347271,2013	kJ	1070798,1984	kJ
$L_{\text{aceite.quemado}}=$	35,1099	L	27,9050	L
$L_{\text{gas}}=$	52,4638	L	41,6977	L
Ahorro=	105297,8139	kJ	105297,8139	kJ
$L_{\text{aceite.quemado}}=$	2,7441	L	2,7441	L
$L_{\text{gas}}=$	4,1004	L	4,1004	L

Tabla resumen				
En estas tablas se encuentran los principales resultados de esta hoja de Excel				
	Sin recubrimiento		Recubierto	
Combustible usado actual(Q_{total1})=	1452569,0152	kJ	1176096,0123	kJ
$Q_{Pérdidas\ gas.actual+ineficiencia\ del\ quemador}$ =	526489,0695	kJ	526489,0695	kJ
$L_{aceite.quemado}$ =	13,7203	L	13,7203	L
L_{gas} =	20,5019	L	20,5019	L
$\% Q_{pérdidas.gases}$ =	36,25%		44,77%	
η_{actual} =	4,78%		5,90%	
Se espera que el $Q_{pérdidas}$ por los gases se reduzca un 0,2 con el quemador nuevo				
$Q_{Pérdidas\ gas.nuevo}$ =	421191,2556	kJ	421191,2556	kJ
$L_{aceite.quemado}$ =	10,9763	L	10,9763	L
L_{gas} =	16,4015	L	16,4015	L
Combustible usado con quemador (Q_{total2})=	1347271,2013	kJ	1070798,1984	kJ
$\% Q_{pérdidas.gases}$ =	31,26%		39,33%	
$\eta_{con\ quemador}$ =	5,15%		6,49%	
En 3 horas				
Consumo de energía=	124747,3335	W	99147,9813	W
	425388,4071	BTU/h	338094,6163	BTU/h
Capacidad del quemador=	425,3884	kBTU/h	338,0946	kBTU/h
Combustible usado con quemador (Q_{total2})=	1347271,2013	kJ	1070798,1984	kJ
$L_{aceite.quemado}$ =	35,1099	L	27,9050	L
L_{gas} =	52,4638	L	41,6977	L
Ahorro=	105297,8139	kJ	105297,8139	kJ
$L_{aceite.quemado\ ahorrado}$ =	2,7441	L	2,7441	L
$L_{gas\ ahorrado}$ =	4,1004	L	4,1004	L

Hoja de “Resultados”

En esta tabla se presentan los principales resultados de esta Memoria de Cálculo. Se presentan los resultados para los 4 casos: Actual, sin recubrimiento y con recubrimiento sin quemador nuevo, y sin recubrimiento y con recubrimiento con quemador nuevo. Para cada caso, se calculó la cantidad de combustible necesario para completar el proceso de fundición, junto con el costo total. Con esto, se calculó el ahorro económico que generan cada mejora con respecto a la situación actual, donde el costo es de ¢20 000, la eficiencia del horno para cada caso. Por último, se calculó el porcentaje de ahorro de combustible que genera cada mejora. En esta tabla se muestran los valores para Gas LPG.

Costo actual=		¢20 000,00							
		Actual. Sin recubrimiento, sin quemador		Sin recubrimiento, con quemador		Con recubrimiento, sin quemador		Con recubrimiento, con quemador	
		Cantidad de gas		Cantidad de gas		Cantidad de gas LPG		Cantidad de gas	
Fundir el bronce	2,7043	L	2,7043	L	2,7043	L	2,7043	L	
Calentar el horno	19,7162	L	19,7162	L	20,1442	L	20,1442	L	
Calentar el crisol	0,9937	L	0,9937	L	0,9937	L	0,9937	L	
Q _{perd} por conducción	4,2160	L/h	4,2160	L/h	0,4847	L/h	0,4847	L/h	
Q _{perd} por los gases	20,5019	L	16,4015	L	20,5019	L	16,4015	L	
Total	56,5642	L	52,4638	L	45,7981	L	41,6977	L	
Costo	¢21 080,55		¢19 552,41		¢17 068,21		¢15 540,07		
Ahorro con respecto a la situación actual	-¢1 080,55		¢447,59		¢2 931,79		¢4 459,93		
Eficiencia del horno	4,78%		5,15%		5,90%		6,49%		
Aumento			0,37%		1,12%		1,70%		
% Ahorro			7,25%		19,03%		26,28%		

En esta tabla se presentan los principales resultados de esta Memoria de Cálculo. Se presentan los resultados para los 4 casos: Actual, sin recubrimiento y con recubrimiento sin quemador nuevo, y sin recubrimiento y con recubrimiento con quemador nuevo. Para cada caso, se calculó la cantidad de combustible necesario para completar el proceso de fundición, junto con el costo total. Con esto, se calculó el ahorro económico que generan cada mejora con respecto a la situación actual, donde el costo es de ¢20 000, la eficiencia del horno para cada caso. Por último, se calculó el porcentaje de ahorro de combustible que genera cada mejora. En esta tabla se muestran los valores para aceite quemado.

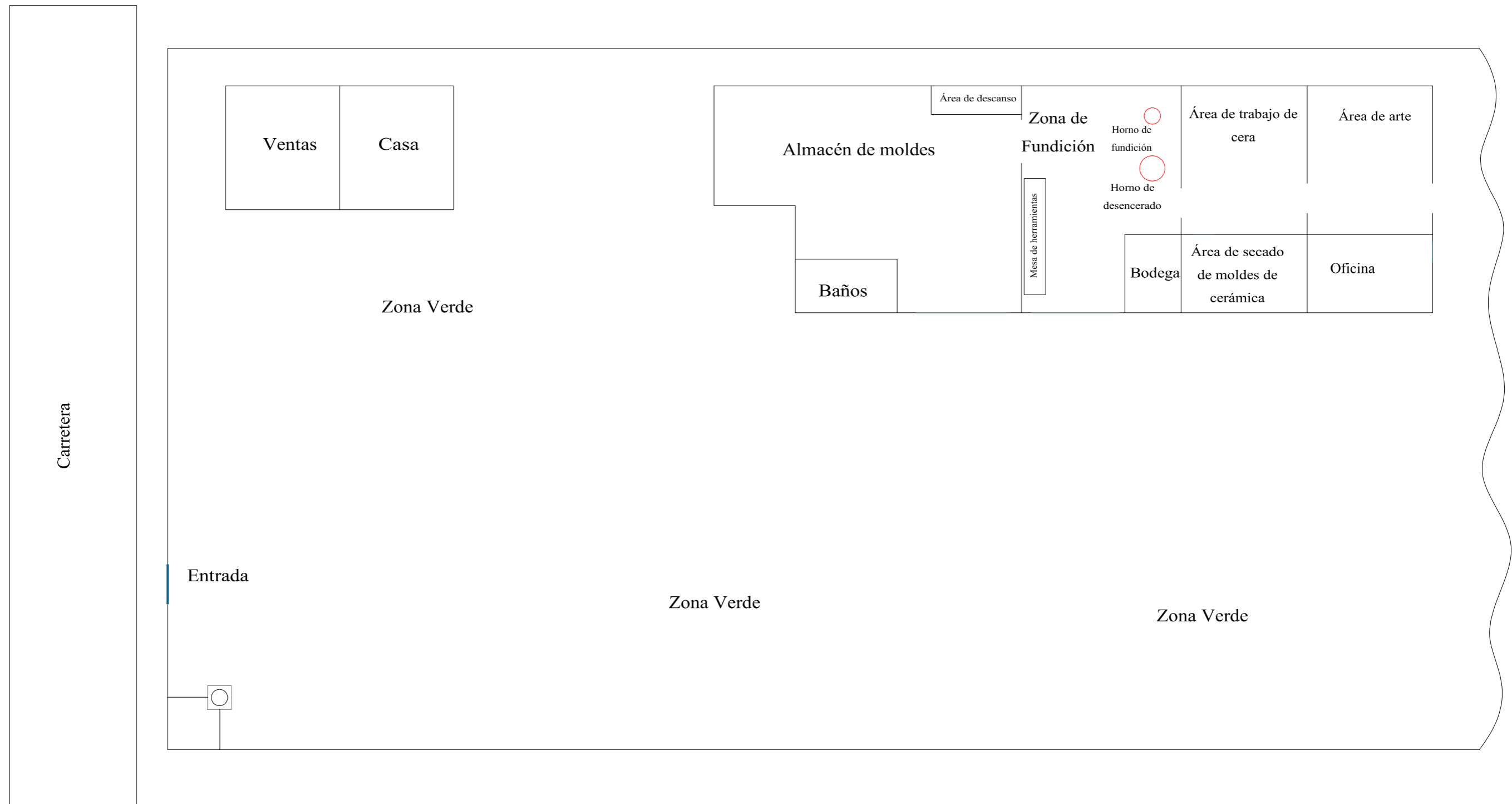
Costo actual= $\text{C}\$20\,000,00$

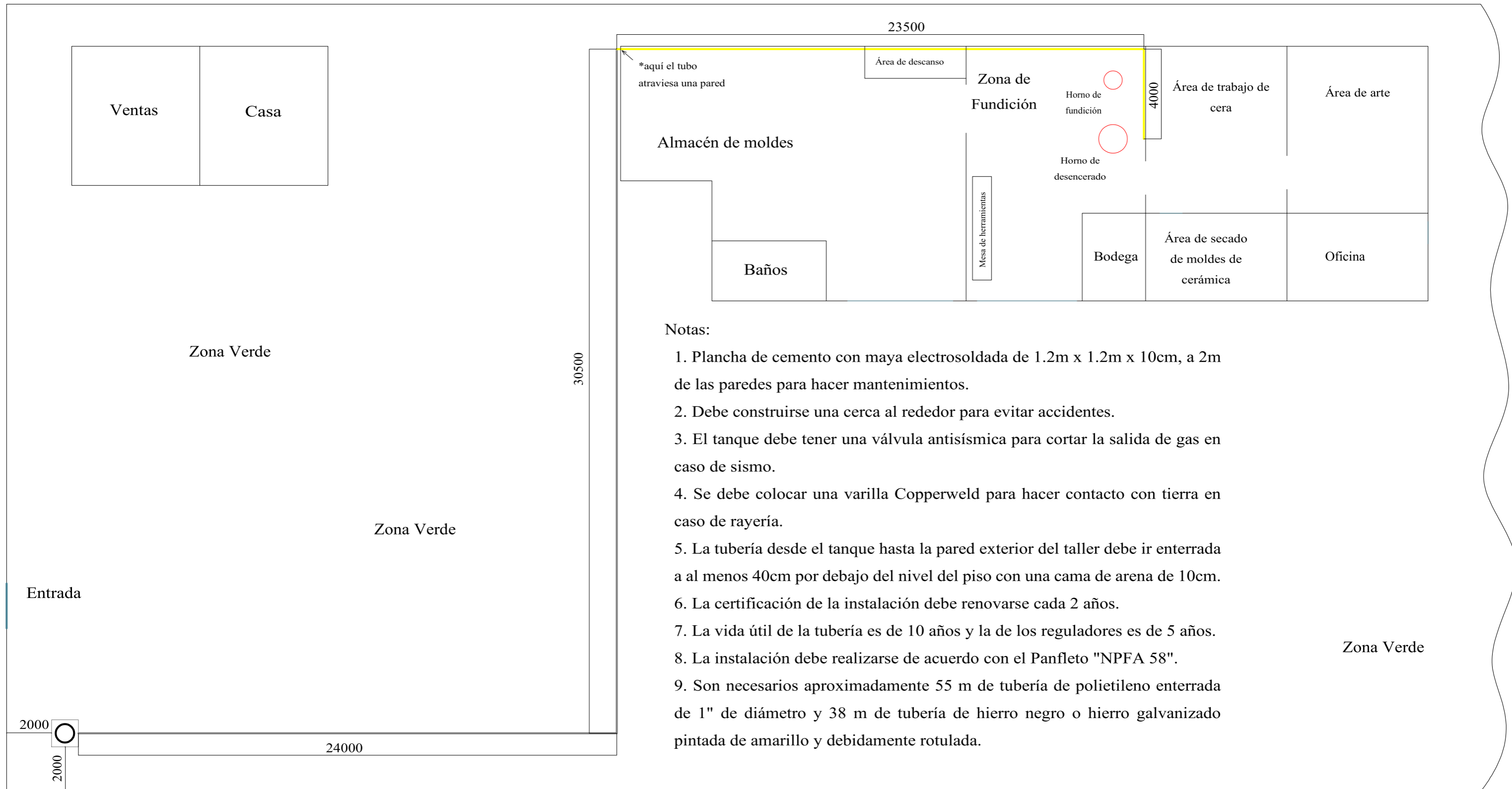
	Actual. Sin recubrimiento, sin quemador		Sin recubrimiento, con quemador		Con recubrimiento, sin quemador		Con recubrimiento, con quemador	
	Cantidad de aceite quemado		Cantidad de aceite quemado		Cantidad de aceite quemado		Cantidad de aceite quemado	
Fundir el bronce	1,8098	L	1,8098	L	1,8098	L	1,8098	L
Calentar el horno	13,1945	L	13,1945	L	13,4809	L	13,4809	L
Calentar el crisol	0,6650	L	0,6650	L	0,6650	L	0,6650	L
Q_{perd} por conducción	2,8214	L/h	2,8214	L/h	0,3243	L/h	0,3243	L/h
Q_{perd} por los gases	13,7203	L	10,9763	L	13,7203	L	10,9763	L
Total	37,8540	L	35,1099	L	30,6491	L	27,9050	L
Costo	$\text{C}\\$20\,000,00$		$\text{C}\\$18\,550,19$		$\text{C}\\$16\,193,32$		$\text{C}\\$14\,743,51$	
Ahorro con respecto a la situación actual	$\text{C}\\$0,00$		$\text{C}\\$1\,449,81$		$\text{C}\\$3\,806,68$		$\text{C}\\$5\,256,49$	
Eficiencia del horno	4,78%		5,15%		5,90%		6,49%	
Aumento			0,37%		1,12%		1,70%	
% Ahorro			7,25%		19,03%		26,28%	

Hoja de "Inversión"

Etapa del plan de mejora	Costo	En estas tablas se muestra el total de la inversión necesaria para llevar a cabo el plan de mejora, junto con el cálculo de cuantas fundiciones aproximadamente son necesarias para recuperar la inversión, considerando el ahorro total de \$4 459,93 que generan las mejoras.
Recubrir el horno	\$94 000,00	
Cambio de combustible	\$2 953 751,53	
Adición de quemador	\$1 057 717,56	
Total	\$4 105 469,09	
Recuperación de la inversión	920,52 fundiciones	

8.5. Croquis de la instalación de la tubería de gas para el cilindro estacionario





Notas:

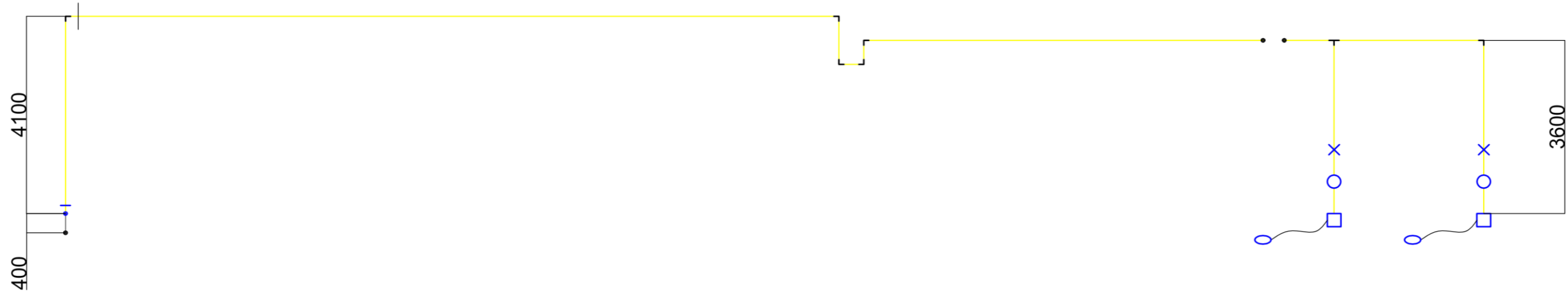
1. Plancha de cemento con maya electrosoldada de 1.2m x 1.2m x 10cm, a 2m de las paredes para hacer mantenimientos.
2. Debe construirse una cerca al rededor para evitar accidentes.
3. El tanque debe tener una válvula antisísmica para cortar la salida de gas en caso de sismo.
4. Se debe colocar una varilla Copperweld para hacer contacto con tierra en caso de rayería.
5. La tubería desde el tanque hasta la pared exterior del taller debe ir enterrada a al menos 40cm por debajo del nivel del piso con una cama de arena de 10cm.
6. La certificación de la instalación debe renovarse cada 2 años.
7. La vida útil de la tubería es de 10 años y la de los reguladores es de 5 años.
8. La instalación debe realizarse de acuerdo con el Panfleto "NPFA 58".
9. Son necesarios aproximadamente 55 m de tubería de polietileno enterrada de 1" de diámetro y 38 m de tubería de hierro negro o hierro galvanizado pintada de amarillo y debidamente rotulada.

Las dimensiones de este croquis están en mm

Diagrama de la tubería

143

Dentro del taller
Vista vertical



Fuera del taller



— : tubo de polietileno de 1"

— : tubo de hierro negro o hierro galvanizado pintado de amarillo debidamente rotulado

X : llave de paso

○ : regulador de ajuste

□ : válvula solenoide

○ : sensor de fuga

● : continuación

▣ : válvula de alivio

Las dimensiones de este croquis están en mm

9. Anexos

9.1. Cotizaciones y fichas técnicas del plan de mejora

Manta de fibra cerámica

INICIO > FIBRA CERÁMICA



Manta de fibra cerámica

La manta de fibra cerámica también llamada silicato de aluminio, se fabrica a partir de fibras cerámicas. Mediante técnicas de soplado e hilado de alto rendimiento, estos productos ofrecen un rendimiento de aislamiento superior. Las mantas de fibra cerámica presentan propiedades aislantes excepcionales a temperaturas elevadas, una excelente estabilidad térmica y conservarán su estructura fibrosa suave original hasta la temperatura máxima de uso continuo.

La manta de fibra cerámica se usa en hornos de tratamiento térmico, tapas de hornos, aislamiento de tuberías, conductos y tubos de alta temperatura, puertas de calderas, aislamiento de calderas, entre otros.

Características

- Fibra Cerámica STD.
- Presentación: 0.6m x 5m en 25mm.
- Temperatura máxima de servicio hasta 1200 °C.

Documento técnico

Ficha técnica

CONTACTO

 San José, Pavas

 (506) 8556-5328

 aislamientoindustrial@gmail.com

PRODUCTOS
 CHAQUETA TÉRMICA DESMONTABLE
 CAÑUELA MINERAL
 MANTA DE LANA MINERAL
FIBRA CERÁMICA
 PYROGEL
 BOBINA DE ALUMINIO
 BOBINA DE ACERO
 COBERTOR DE ALUMINIO
 ACCESORIOS METÁLICOS EN ACERO INOXIDABLE Y ALUMINIO
 POLIURETANO



Product data sheet

Blanket

	ZrO2	-	-	-	15-17	15-17
	Fe2O3	<1.2	<1.0	0.2	0.2	0.2
	Na2O & K2O	≤0.5	≤0.5	0.2	0.2	0.2

NRC VALUE

Note: The technical data sheets are based on tests performed in the Laboratory. Nothing herein to be construed as a warranty or representation and we recommend; However, that all potential users of the product make their own actual tests prior to using it on industrial scale.

info@iking-glasswool.com www.iking-glasswool.com





Oferta de servicio

Santa Ana, San José.

Tel.: 2282-8283 Fax: 2203-1760

Email: instalaciones@blueflameworldwide.com

Atención: Arias Gualey
Empresa: Casa Fage
Dirección: Alajuela
e-mail: ariasgualey24@gmail.com
Teléfono: 6022-2403 / 8706-4702

Fecha:	17-sep.-24	
Oferta:	2024-5306	
Referencia:	Instalación de grisol de borce	
Validez: 7 días	Técnico que visitó:	Fernando

Cantidad	Descripción
	La actual oferta contempla los costos operativos, mano de obra y materiales.

Incluye: Mano de obra y materiales

Sub-total:	\$4,866.06
I.V.A 13%:	\$632.59
Total:	\$5,498.64

Condiciones importantes a considerar:

- * No incluye el costo del gas de la primer recarga (día de instalación)
- * No incluye Certificación según decreto 41150 MINAE (costo por aparte).
- * Se ejecuta el trabajo a partir de 3 días hábiles de efectuado el pago
- * SI cobramos depósito por nuestros recipientes.

* Puede trabajar la tubería con su contratista de confianza y LLAMARNOS PARA INSTALAR NUESTRO TANQUE y darle el mejor servicio de recargas en gas de Costa Rica.

RECEPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO:

Hago constar que recibí el trabajo descrito en líneas previas y estoy de acuerdo en el cobro restante de la oferta.

Fecha en que recibe el trabajo como terminado: _____

TÉRMINOS DE PAGO.

Transferencia del 50% contra pedido y 50% contra entrega

Transferencia a nombre de: BLUE FLAME FUEL TECHNOLOGY CORPORATION S. A. Cédula jurídica: 3-101-535707

* BAC SAN JOSÉ DÓLARES

* Cuenta IBAN # CR91010200009136828039

APROBADO POR: _____

QUEMADOR MANUAL





Quemadores Automaticos S.A. de C.V.

Somos fabricantes de Quemadores industriales, una empresa 100% mexicana con mas de 50 años de experiencia, fabricamos los mejores productos; quemadores, homos y sistemas de calentamiento a medida para cualquier industria.

COTIZACION
GDL-M418

Atendiendo su amable solicitud estamos enviando cotización de los productos requeridos, para nosotros es un placer poner nuestra compañía a su servicio.

NIT	CLIENTE	CONTACTO	FECHA	CIUDAD
GDL-M418			23-sep-2024	Guadalajara
TELEFONO	DIRECCION	E-MAIL	DESCUENTO	T. PAGO
	-		0%	CONTADO

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
------	--------	-------------	----------	--------	--------------	-----------

1	QMM-001	QUEMADOR MANUAL MIXTO MODELO 20 Quemador industrial completo mixto trabaja desde 50 mil hasta 5 millones de btu/h Motor de 1.5 HP monofasico 110/220v Turbina de 20 pulgadas de diámetro Cañones diseñados para gas lp o natural y combustible alternativo o diesel Compuerta de aire Válvula de gas Valvula de aceite o diesel. Base tipo H	1	Piezas	\$ 18,000.00	\$ 18,000.00
---	---------	--	---	--------	--------------	--------------

					\$	-
					\$	-
					\$	-
					\$	-
					\$	-
					\$	-
					\$	-
					\$	-

Precios en pesos mexicanos.	GRAN TOTAL	\$	18,000.00
Se requiere 50% de anticipo y 50% para realizar el envío o entrega.	DTO	\$	-
Propuesta valida por el mes en curso al enviar cotizacion.	SUBTOTAL	\$	18,000.00
Precios sujetos a cambio sin previo aviso.	I.V.A 16%	\$	2,880.00
No incluye instalacion.	VALOR TOTAL	\$	20,880.00
Tiempo de entrega de 10 a 20 dias habiles			

ATENTAMENTE:

Ing. Jaime Gutierrez Hernandez
33 1242 3126
info@quemadoresdeoccidente.com
www.quemadoresdeoccidente.com

Calle Ciprés 1601 Col. del Fresno, CP 44900 Col. del Fresno, CP 44900

Quedando a sus órdenes para cualquier duda.

La construcción de los quemadores requiere el 50% del precio del producto y restante día de envío o contra entrega.
Tiempo de entrega de 10 a 20 días hábiles como máximo.
Garantía de 1 año bajo defecto de fábrica en componentes electrónicos. Productos libres de mantenimiento.
Cambios de precio sin previo aviso por aumento de divisa americana. Cotizacion valida por mes en curso unicamnte.
Equipos solicitados por el cliente en capacidad y funcionamiento. Instalacion y puesta en marcha de cada equipo por cuenta del cliente.
No se aceptan devoluciones
No incluye envio
No incluye instalacion
Quemadores automaticos sa de cv se deslinda de cualquier mal uso de los equipos solicitados por el cliente.

Datos bancarios:

Banco: BBVA Bancomer
A nombre de: QUEMADORES AUTOMATICOS S.A. DE C.V.
CUENTA: 0109919805
CLABE INTERBANCARIA 012320 001099 198056

Banco: BANREGIO
A nombre de: QUEMADORES AUTOMATICOS S.A. DE C.V.
CUENTA: 132021660012
CLABE INTERBANCARIA 05832000026915610

9.2. Cotizaciones y fichas técnicas

**ISOKING**

BLANKET



ISOKING® ROCK WOOL BLANKET OVERVIEW

ISOKING® ROCK WOOL BLANKET, which using high quality basalt and dolomite as the main raw materials. After melting at a temperature higher than 1450 °C or, it is centrifuged at high speed using an internationally advanced four-axis centrifuge. Dimensions, while spraying a certain amount of binder, dustproof oil, water repellent, and collecting by a cotton collector. Through the pendulum method, and three-dimensional method, after curing, it is solidified and cut to form different Rock wool products for specifications and uses.

ISOKING® ROCK WOOL BLANKET is fully comply with the requirements set by domestic & international recognized standards like GB11835, GB50264, EN14303, ASTM C612 Meet various performance testing requirements. And have ISO, CE and A1 certification approval.



ADVANTAGES

- ◆ Flexible application
- ◆ Suitable for high temperature application
- ◆ Suitable for the thermal and acoustic insulation
- ◆ Suitable for large diameter piping, vessels, ducts
- ◆ Available in a wide range of thickness



SPECIFICATION

Density	50-160kg/m ³
Thickness	30-100mm
Width	600/910mm
Length	25000-5000mm

Note: Above size are standard sizes, for other size please consult us. The material of the stitched net is galvanized mesh or stainless steel mesh. The common standard is 24# wire diameter with mesh diameter of 1" or 22# wire diameter wire mesh with a mesh diameter of 1"

INSTALLATION GUIDELINES

Cut the wired mat to length, so that the mat fits the pipe with slight pre-stressing. The closing joints must be staggered at an angle of at least 30 degrees to each other. The closing joints of the mats (lengthwise and circular) must be wired together.

The insulation should be finished with a metal (e.g. aluminum) cladding. Where necessary, expansion joints are provided to cater for expansion of the pipes. Both the lengthwise and circular joints are fastened with sheet-metal screws: hard aluminum or stainless steel 1/2", 8/meter. Close the expansion joints with a steel tensioning wire. Connections to mountings, head and end caps etc. should be made watertight using a suitable sealant.

TECHNICAL PARAMETERS

Description	Blanket 60	Blanket 80	Blanket 120	Standard
Density	60kg/m ³	80kg/m ³	120kg/m ³	EN1602
Thermal Conductivity				ASTM C335
50°C	0.038W/mK	0.033W/mK	0.030W/mK	
100°C	0.045W/mK	0.038W/mK	0.035W/mK	
150°C	0.054W/mK	0.054W/mK	0.053W/mK	
200°C	0.062W/mK	0.058W/mK	0.057W/mK	
250°C	0.074W/mK	0.069W/mK	0.066W/mK	
300°C		0.081W/mK	0.078W/mK	
350°C		0.094W/mK	0.089W/mK	
Hot Surface Performance	450°C	650°C	750°C	ASTM C411 / ASTM C447
Linear shrinkage, max % at	0.002	0.40%	3.50%	ASTM C356
Surface Burning Characteristic				ASTM E84
FSI	0	0	0	
SD	20	20	20	
Water Absorption	<1kg/m ²	<1kg/m ²	<1kg/m ²	EN1609 / BS 2972
PH	"7-10"			IS 3144
Water Vapor Sorption	≤0.5% by weight	≤0.4% by weight	≤0.2% by weight	ASTM C1104
Chloride Ion Content	P.P.M≤25			ASTM C871
Corrosion to stainless steel	Conforms to the stainless steel corrosion specification as per			ASTM C692 / ASTM C795
Health & Safety:	Asbestos	No asbestos		
	Irritating odor	No Irritating odor		ASTM C665-06
	Bacteria	No Bacteria		ASTM C1338
Compliance to Standard	ASTM C592 "Standard specification for rock wool blanket insulation"			
	Type I & III			

Note: The technical data sheet is based on tests performed in the Laboratory. Nothing herein to be construed as a warranty or representation and we recommend, However, that all potential users of the product make their own actual tests prior to using it on industrial scale.



MANTA DE FIBRA DE CERÁMICA

CATEGORIZACIÓN

Aislamiento térmico

DESCRIPCIÓN

La manta de fibra de cerámica es un material aislante térmico ideal, ignífugo y que absorbe el sonido. La manta de fibra de cerámica está compuesta de fibras largas, flexibles y entretrejidas fabricadas por el proceso de soplado e hilado que produce una manta resistente, liviana y duradera para aplicaciones en un rango de temperatura de 1100 ° C (2012 ° F) a 1430 ° C (2600 ° F). La manta de fibra cerámica es completamente inorgánica y está perforada para proporcionar una resistencia de manipulación excepcional, utilizada en una variedad de aplicaciones de procesamiento térmico

DENSIDAD

• 80-128Kg / m³

LONGITUD

• 3600-14000 mm

ANCHO

• 610 mm

ESPESOR

• 6-50 mm

VENTAJAS

Baja densidad y baja conductividad térmica.
Resiliencia y resistencia al choque térmico.
Excelente calidad química
Flexible y fácil de cortar o instalar

APLICACIONES

La manta de fibra cerámica se usa ampliamente para el tratamiento térmico de hornos industriales, la exposición directa al calor como revestimiento de la cara caliente del horno, material de filtro de alta temperatura, aislamiento de tratamiento térmico y juntas de expansión.

PARÁMETROS TÉCNICOS

Descripción	Común	Estándar	Alta Pureza	Alto Alúmina	Circonita	
Temperatura Máxima (°C)	1100	1260	1260	1360	1430	
Temperatura de Trabajo (°C)	< 1000	1050	1100	1200	1350	
Color	Blanco	Blanco	Blanco	Blanco	Blanco	
Densidad (kg/m ³)	96-128	96-128	96-128	128-160	128-160	
Contracción (%) de Calentamiento 24 horas (Densidad 128 kg/m ³)	-4 (1000°C)	-3 (1000°C)	-3 (1100°C)	-3 (1250°C)	-3 (1350°C)	
Conductividad térmica (w/m.k) (Densidad 128 kgs / m ³)	0.09 (400°C) 0.16 (800°C)	0.09 (400°C) 0.16 (800°C)	0.09 (400°C) 0.16 (800°C)	0.12 (600°C) 0.20 (1000°C)	0.16 (800°C) 0.20 (1000°C)	
Resistencia a la Tracción (MPa) (Densidad 128 kg/m ³)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	
Composición Química	Al ₂ O ₃	44	46	47-49	52-55	39-40
	Al ₂ O ₃ & SiO ₂	96	97	99	-	-
	Al ₂ O ₃ & SiO ₂ & ZrO ₂	-	-	-	99	99
	ZrO ₂	-	-	-	15-17	15-17
	Fe ₂ O ₃	< 1.2	< 1.0	0.2	0.2	0.2
Na ₂ O & K ₂ O	≤ 0.5	≤ 0.5	0.2	0.2	0.2	

AGENCIAS VIBO DE CENTROAMERICA SOCIEDAD ANONIMA

☎ 3101127736

✉ facturacion@agvibo.com

🌐 <http://www.agvibo.com>

☎ +506 22220410

📍 Costa Rica , San José (CR) , San José , Merced



CLIENTE CONTADO

cliente contado

San José, Costa Rica

Presupuesto # S15820

Fecha de presupuesto:

11/09/2024

Comercial:

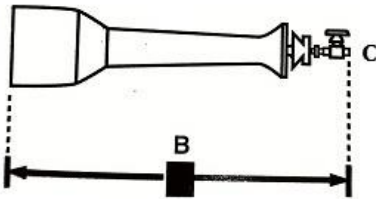
Jonathan Rojas

Descripción	Cantidad	Precio unidad	Impuestos	Importe
[TE-FC-25X24] Tela (Manta) Ceramica STD 1" x 24" x 7.62m	1.00 Unidades	33,000.0000	13%	₡ 33,000.00
Base imponible				₡ 33,000.00
Impuestos				₡ 4,290.00
Total				₡ 37,290.00

Plazo de pago: Pago inmediato

Quemadores Flama Desplegada Spreaded Head Burners

Utilizados para calentar recipientes de todo tipo, y diseñados para aplicaciones donde la flama debe ser de gran área, como peroles, crisoles, calentadores de agua, estufas comerciales, etc.



N. Parte	Modelo	Dimensiones en Cm.		
		A	B	C
2-23896	FR-2	5	32	1/4"
2-23897	FR-4	6.5	32	1/4"
2-23898	FR-6	8	37	1/4"
2-23899	FR-8	11	51	1/4"
2-23900	FR-10	13	60	1/4"

N. Parte	Modelo	Capacidad Btu/h.	
		11" W.C	14 PSI
2-23896	FR-2	13.000	65.000
2-23897	FR-4	28.167	74.700
2-23898	FR-6	43.000	102.500
2-23899	FR-8	69.156	230.000
2-23900	FR-10	109.145	630.000



☎ 33 1618 7800

✉ ventasweb@twparts.com.mx

📍 Av. Periferico Manuel Gómez Morin 555,
Col. Granja, 45010, Zapopan, Jal

2021 Tecnoworld © Todos los Derechos Reservados



**Distribuidor en Costa Rica:
Grupo Delgado S.A
Telefono:2520-0309**



Grupo Delgado S.A.

Cédula Jurídica 3101012582
Dirección: Sabana Sur; de la Torre Universal, cuadra y media al sur; frente al Apartotel El Sesteco. , Colón (parte), Hospital, San José, San José
Teléfono: 25200310
Email: grudelsa@ice.co.cr
Sitio Web: www.gaslpccostarica.com

Proforma V. 4.3

Número: 12474

Fecha y hora de emisión: 23-09-2024 08:19:11 am
Fecha de vencimiento: 01-10-2024
Actividad económica: 523901

Cliente: Cliente de contado

Número de identificación:
Dirección:
Teléfono:
Email:

Contacto: Cliente General

Teléfono:
Email:

Información financiera

Condición de Venta: Contado
Código de Moneda: CRC
Tipo de Cambio: CRC 1.00
Medio de pago: Efectivo

No	COD	PRODUCTO	CANT	UNI	PRECIO	DESCUENTO	IMPUESTO	TOTAL DE LÍNEA
1	700450	QUEM.RECTO HIERRO 13 X 60 630KBTUS 14LB	1.00	Unid	CRC 191,400.00	CRC 0.00	IVA 13% CRC 24,882.00	CRC 216,282.00

Código CABYS: 4341001000200

Comentario:

VALERY

Sinpe Móvil: 8539-9000

Cuenta Colones Banco Nacional: Cta.Co:100-01-035-001025-5 IBAN:CR58015103510010010258

Cuenta Dólares Banco Nacional: Cta.Co: 100-02-035-600384-1 IBAN:CR13015103510026003846

Cuenta Colones BAC: Cta. Co:932102395 IBAN: CR59010200009321023952

Cuenta Dólares BAC: Cta. Co:926212598 IBAN: CR46010200009262125980

SWIFT: BSNJCRSJ

Dirección: Calle 42 Avenidas 14 y 16, San José Costa Rica.

NO SE ACEPTAN DEVOLUCIONES.

Mercancías gravadas:	CRC 191,400.00
Monto Total:	CRC 191,400.00
Descuento:	- CRC 0.00
Subtotal:	CRC 191,400.00
Total IVA:	+ CRC 24,882.00
Otros Impuestos:	+ CRC 0.00
Total:	CRC 216,282.00

El monto total es equivalente a USD 414.88 con un tipo de cambio de CRC 521.31

*** Saldo pendiente por pagar: CRC 216,282.00**

RIELLO 40 FS SERIES

The Riello 40 FS series of one stage gas burners, is a complete range of products developed to respond to any request for light industrial application. The Riello 40 FS series is available in five different models, with an output ranging from 11 to 220 kW, divided in four different structures.

All the models use the same components designed by Riello for the Riello 40 FS series. The high quality level guarantees safe working.

The Riello 40 FS burners are fitted with a microprocessor - based control box, with diagnostic functions.

In developing these burners, special attention was paid to reducing noise, to the ease of installation and adjustment, to obtaining the smallest size possible to fit into any sort of boiler available on the market.

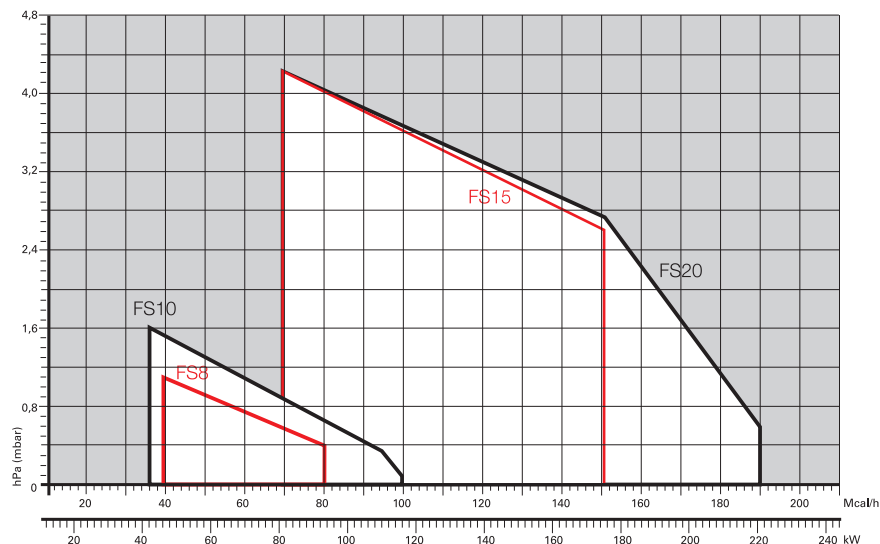
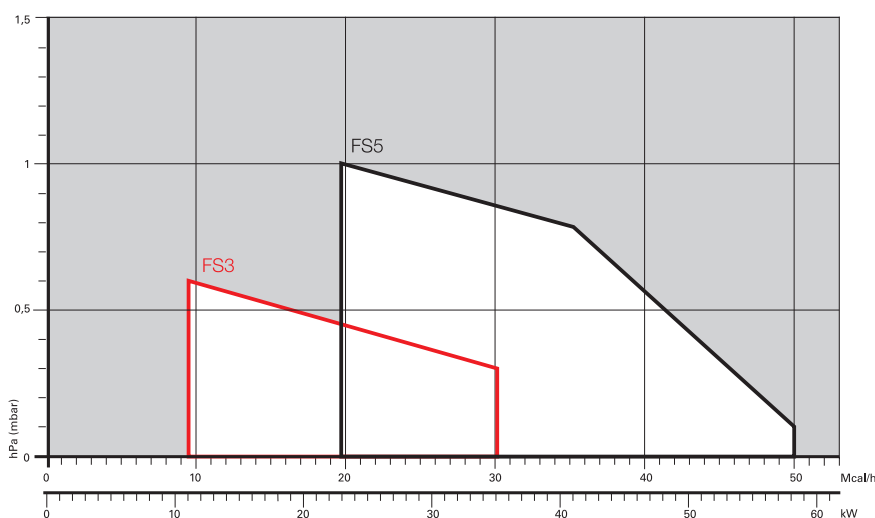
All the models are approved by the EN 676 European Standard and conform to European Directives for EMC, Low Voltage, Machinery and Boiler Efficiency.

All the Riello 40 FS burners are tested before leaving the factory.



FS3	11 ÷ 35 kW
FS5	23 ÷ 58 kW
FS8	46 ÷ 93 kW
FS10	42 ÷ 116 kW
FS15	81 ÷ 175 kW
FS20	81 ÷ 220 kW

FIRING RATES

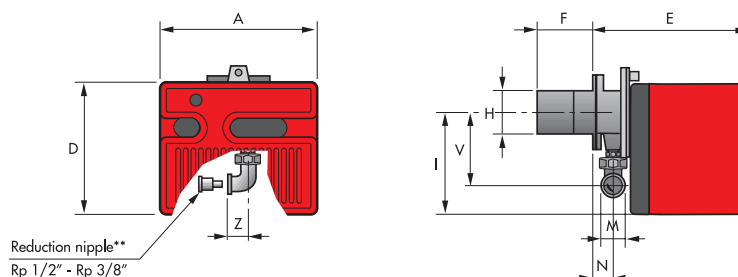


One Stage Gas Burners

RIELLO 40 FS SERIES

Overall dimensions (mm)

BURNER



MODEL	A	D	E	F	H	I	M	N	V	Z
▶ FS3	252	215	230	100	91	165	Rp 3/8"*	37	132	25
▶ FS5	272	233	295	100	91	180	Rp 1/2"	48	138	28
▶ FS8	305	262	347	110	105	204	Rp 3/4"	61	142	33
▶ FS10	305	262	346	110	105	204	Rp 3/4"	61	142	33
▶ FS15	350	298	389	120	125	230	Rp 3/4"	67	152	33
▶ FS20	350	298	389	120	125	230	Rp 3/4"	67	152	33

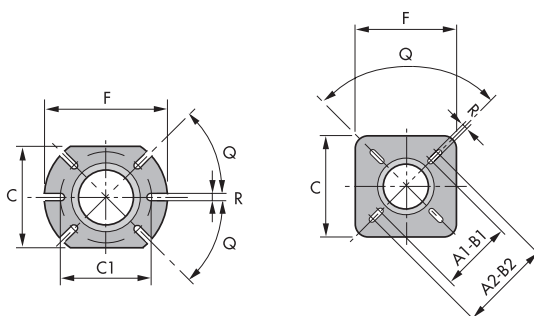
* With reduction nipple

** Standard equipment on R40 FS3

BURNER - BOILER MOUNTING FLANGE

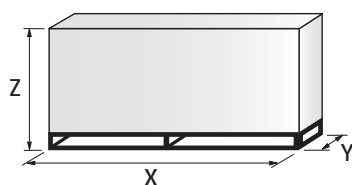
FS3 - FS5 - FS8 - FS10

FS15 - FS20



MODEL	A1	A2	B1	B2	C	C1	F	Q	R
▶ FS3	-	-	-	-	140	130	170	45°	10
▶ FS5	-	-	-	-	140	130	170	45°	10
▶ FS8	-	-	-	-	160	130	185	45°	11
▶ FS10	-	-	-	-	160	130	185	45°	11
▶ FS15	155	200	155	200	170	-	170	90°	11
▶ FS20	155	200	155	200	170	-	170	90°	11

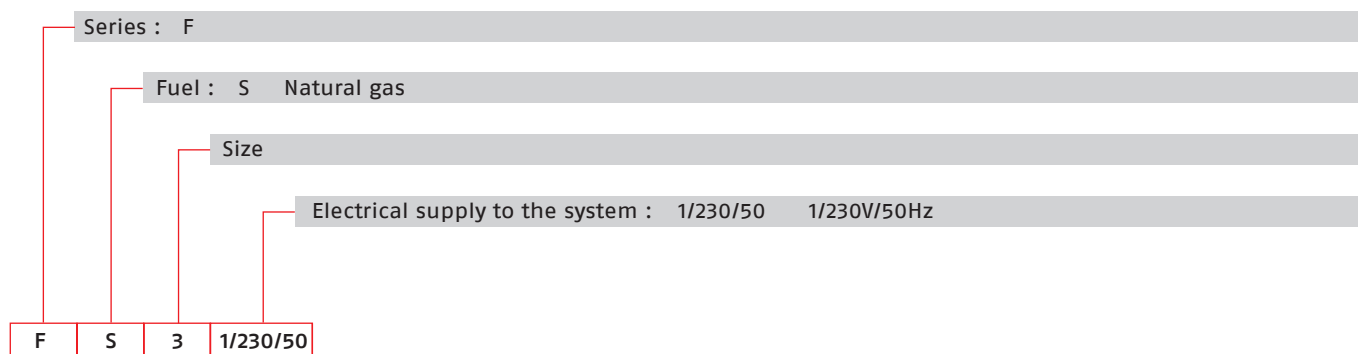
PACKAGING



MODEL	X	Y	Z	kg
▶ FS3	375	335	310	9,5
▶ FS5	445	355	335	11
▶ FS8	483	495	330	13
▶ FS10	483	495	330	16
▶ FS15	535	535	375	19
▶ FS20	535	535	375	20

Specification

DESIGNATION OF SERIES



STATE OF SUPPLY

Monoblock, gas burners, completely automatic, with one stage settings fitted with:

- Fan with forward curve blades
- Cover lined with sound-deadening material
- Metallic and fixed air damper with adjustment
- Single phase electric motor 230 V, 50 Hz
- Combustion head fitted with:
 - stainless steel head cone, resistant to high temperatures
 - ignition electrodes
 - ionisation probe
 - gas distributor
 - flame stability disk
 - flame inspection window
- Adjustable air pressure switch, with graduated selector, to guarantee burner lock out in the case of insufficient combustible air
- Microprocessor-based flame control box, with diagnostic functions
- IP X0D (IP 40) electric protection level.

Standard equipment:

- Flange insulation screen
- Screws and nuts for fixing the flange to the boiler
- 7-pole socket
- Hinge
- Reduction nipple Rp 1/2" - Rp 3/8" (for R40 FS3 only)
- Grommet
- Instruction handbook for installation, use and maintenance
- Spare parts catalogue.

One Stage Gas Burners

RIELLO 40 FS SERIES

Available models

Burners

CODE	MODEL	HEAT OUTPUT		TOTAL ELECTRICAL POWER (kW)	CERTIFICATION	NOTE	
		NATURAL GAS					
		(kW)	(Nm ³ /h)				
3756506	FS3	1/230/50	11 - 35	1,1 - 3,5	0,150	CE - 0694 CN7805	
3756606	FS5	1/230/50	23 - 58	2,3 - 5,8	0,150	CE - 0694 CN7805	(1)
3756706	FS8	1/230/50	46 - 93	4,6 - 9,3	0,150	CE - 0694 CN7805	(1)
3756435	FS10	1/230/50	42 - 116	4,2 - 11,6	0,130	CE - 0694 CN7805	(1) (2)
3756803	FS15	1/230/50	81 - 175	8,1 - 17,5	0,130	CE - 0694 CN7805	(1) (2)
3756935	FS20	1/230/50	81 - 220	8,1 - 22	0,250	CE - 0694 CN7805	(1) (2)

Models for LPG applications

CODE	MODEL	HEAT OUTPUT		TOTAL ELECTRICAL POWER (kW)	CERTIFICATION	NOTE	
		LPG					
		(kW)	(Nm ³ /h)				
3756439	FSP10	1/230/50	42 - 116	1,6 - 4,4	0,130	CE - 0063AP6680	(1) (2)
3756939	FSP20	1/230/50	81 - 220	3,1 - 8,5	0,250	CE - 0063AP6680	(1) (2)

Net calorific value G20: 10 kWh/Nm³ - Density: 0,71 kg/Nm³
 Net calorific value G31 (LPG): 25,8 kWh/Nm³ - Density: 2,02 kg/Nm³
 The burners of FS series are in accordance with EN 676
 (1) With plug and socket
 (2) French version

Gas Trains

GAS TRAIN CODE *	GAS TRAIN MODEL	NATURAL GAS		LPG		NOTE
		BURNER (type)	ADAPTER (code)	BURNER (type)	ADAPTER (code)	
MULTIBLOC GAS TRAIN	3970569	MBC 65/1 - RSD 20	FS3 - FS5		FS3 - FS5	(1)
	3970530	MB 405/1 - RSD 20	FS5 - FS8 - FS20		FS5 - FS8 - FS20	(1) (2)
	3970500	MB 405/1 - RT 20	FS10		FS10	(1) (3)
	3970531	MB 407/1 - RSD 20	FS5 - FS8 - FS10 FS15 - FS20		FS5 - FS8 - FS10 FS15 - FS20	(1) (4)
	3970532	MB 410/1 - RSD 20	FS10 - FS20		FS10 - FS20	(1)

Please see Designation of Gas Train Series in the page before the Catalogue index.

* Gas train are 230V/50Hz - 220V/60Hz electrical supply

(1) With installed plug (if the plug is not necessary, remove it in accordance with gas train instruction manual indication)

(2) FS8 ≤ 80 kW with natural gas

(3) FS10 ≤ 80 kW with natural gas

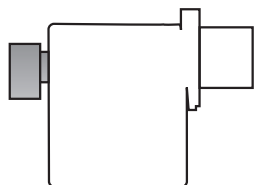
(4) FS20 ≤ 180 kW with natural gas

The valve seal control device is compulsory (conforming to EN 676) on gas trains to burners with a maximum output over 1200 kW.

To select the gas train please refer to the technical data leaflet and/or instruction manual.

Burner accessories

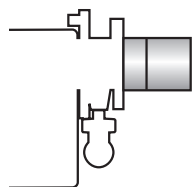
Remote reset control kit for MG 557/3/5 control box



The MG 557 control box can be remotely released using an electric command kit. This kit must be installed in conformity with the local authority.

BURNER	KIT CODE
▶ FS3 – FS5 – FS8 – FS15	3002750

Extended head kit



Burners “standard head” can be transformed into “extended head” versions by using the special kit. Here the KITS available for the various burners are listed, showing the original and the extended lengths.

BURNER	STANDARD HEAD LENGTH (mm)	EXTENDED HEAD LENGTH (mm)	KIT CODE
▶ FS3 – FS5	100	125	3000820
▶ FS8 – FS10	110	170	3001064
▶ FS8	110	278	3000920
▶ FS15 – FS20	120	280	3000873

End cone with turbulator disk



The end cone turbulator disk reduces the flame length. It is suitable for oven application (CO emissions) and short boiler chamber.

BURNER	PROJECTION (mm)	KIT CODE
▶ FS5	+15	3000916
▶ FS8	+18	3000917
▶ FS10	+18	3000918
▶ FS20	+23	3000919

LPG kit



For burning LPG gas, a special kit is available to be fitted to the combustion head on the burner as shown in the following table.

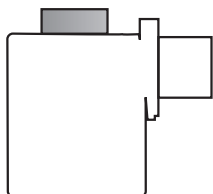
BURNER	KIT CODE FOR STANDARD HEAD	KIT CODE FOR EXTENDED HEAD
▶ FS3	3000881	3000881
▶ FS5	3000882	3000882
▶ FS8	3000927	3000927
▶ FS10	3000884	3000884
▶ FS15	3000885	3000885
▶ FS20	3000886	3000886

One Stage Gas Burners

RIELLO 40 FS SERIES

Burner accessories

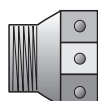
Inlet air aspiration kit



This kit allows to channel the external air directly into the burner and is available as accessory for models:

BURNER	KIT CODE
▶ FS3	20027571
▶ FS5	20027576
▶ FS8 - FS10	20027578
▶ FS15 - FS20	20027581

Town gas kit



BURNER	KIT CODE
▶ FS3	3000888
▶ FS5	3000889
▶ FS8	3000890
▶ FS10	3000891
▶ FS20	3000893

Ground fault interrupter kit



A "Ground fault interrupter kit" is available as a safety device in case of electrical system fault. It is supplied with burners with pin plug.

BURNER	KIT CODE
▶ FS5 - FS8 - FS10 - FS20	3001180

7-pin plug kit

If necessary a 7-pin plug kit is available (in packaging of n. 5 pieces).

BURNER	KIT CODE
▶ All models	3000945

Continuous ventilation kit for RMG control box

If the burner requires continuous ventilation in the stages without flame, a special kit is available as given in the following table.

BURNER	KIT CODE
▶ FS15 - FS10 - FS20	3010094

Burner accessories

PC interface kit



To connect the control box to a personal computer for the transmission of operation, fault signals and detailed service information, an interface adapter with PC software are available.

BURNER	KIT CODE
▶ FS3 - FS5 - FS8	3002731
▶ FS10 - FS15 - FS20	3002719

Gas train accessories

Seal control kit



To test the valve seals on the gas train, (except for the model with Multibloc MBC 65 DLE) a special "seal control kit" is available.

GAS TRAIN	KIT CODE for 50 Hz operation	KIT CODE for 60 Hz operation
▶ MB/1 type	3010123	20050030



Grupo Delgado S.A.

Cédula Jurídica 3101012582
Dirección: Sabana Sur; de la Torre Universal, cuadra y media al sur; frente al Apartotel El Sesteco. , Colón (parte), Hospital, San José, San José
Teléfono: 25200310
Email: grudelsa@ice.co.cr
Sitio Web: www.gaslpccostarica.com

Proforma V. 4.3

Número: 12469

Fecha y hora de emisión: 20-09-2024 03:17:02 pm
Fecha de vencimiento: 28-09-2024
Actividad económica: 523901

Cliente: Cliente de contado

Número de identificación:
Dirección:
Teléfono:
Email:

Contacto: Cliente General

Teléfono:
Email:

Información financiera

Condición de Venta: Contado
Código de Moneda: CRC
Tipo de Cambio: CRC 1.00
Medio de pago: Efectivo

No	COD	PRODUCTO	CANT	UNI	PRECIO	DESCUENTO	IMPUESTO	TOTAL DE LÍNEA
1	153000	KIT QUEM.AIRE FORZADO, RIELLO, FS8, 200-400	1.00	Unid	CRC 1,265,000.00	CRC 0.00	IVA 13% CRC 164,450.00	CRC 1,429,450.00

Código CABYS: 4341001000200

Comentario:

Este precio no incluye el ensamble de las partes del quemador.

Sinpe Móvil: 8539-9000

Cuenta Colones Banco Nacional: Cta.Co:100-01-035-001025-5 IBAN:CR58015103510010010258

Cuenta Dólares Banco Nacional: Cta.Co: 100-02-035-600384-1 IBAN:CR13015103510026003846

Cuenta Colones BAC: Cta. Co:932102395 IBAN: CR59010200009321023952

Cuenta Dólares BAC: Cta. Co:926212598 IBAN: CR46010200009262125980

SWIFT: BSNJCRSJ

Dirección: Calle 42 Avenidas 14 y 16, San José Costa Rica.

NO SE ACEPTAN DEVOLUCIONES.

Mercancías gravadas:	CRC 1,265,000.00
Monto Total:	CRC 1,265,000.00
Descuento:	- CRC 0.00
Subtotal:	CRC 1,265,000.00
Total IVA:	+ CRC 164,450.00
Otros Impuestos:	+ CRC 0.00
Total:	CRC 1,429,450.00

El monto total es equivalente a USD 2,737.73 con un tipo de cambio de CRC 522.13

*** Saldo pendiente por pagar: CRC 1,429,450.00**

Model HSG

200/400 GAS BURNER



HSG features:

The Wayne Model HSG power gas burners are designed for performance and reliability, and offer features such as:

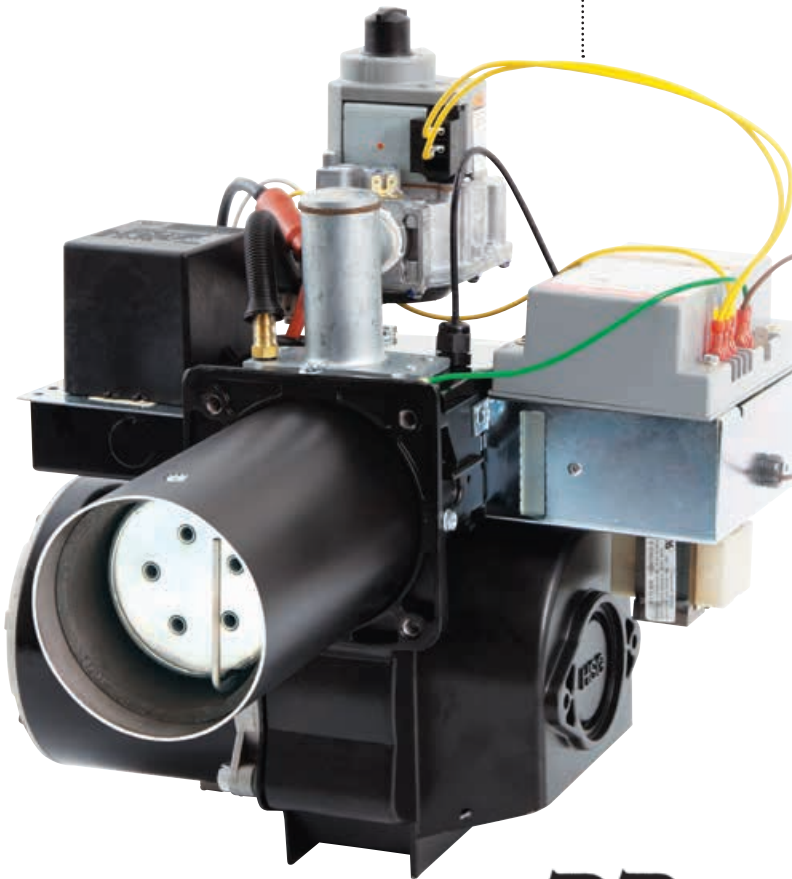
- Higher static capabilities will overcome most adverse draft conditions encountered
- Good combustion in poor draft situations
- Converts easily to fire Natural Gas or LP Gas
- Partial premix head design to provide excellent combustion characteristics (8% to 10% CO₂ on Natural Gas)

Designed For Easy Serviceability:

- No need to remove the burner for normal service. The Gas Manifold assembly is easily removed for complete service or replacement of components
- Easy, convenient external orifice change
- Automatic, perfect alignment of combustion components
- Primary Air Damper with indicator
- Exclusive Off-Cycle Damper reduces drafting back through the burner between burner firing cycles and also allows for fine-tuning of burner combustion.

Designed For Installation Flexibility:

- Simple burner set up. Just identify and install the correct orifice and, using proper test instruments, set the gas valve pressure and adjust the Primary and Off-Cycle Dampers.
- HSG Gas Burners are factory set to fire Natural Gas. Converting to fire LP is a simple matter of identifying and installing the correct orifice and, using proper test instruments, setting the gas valve pressure, Primary and Off-Cycle Dampers.
- An Orifice Pack is supplied with each burner, allowing firing each model through its entire rate range on either Natural or LP Gas.
- Major manufacturer, industry proven components utilized to provide excellent performance and reliability.



BA
BLUE ANGEL™



Specifications

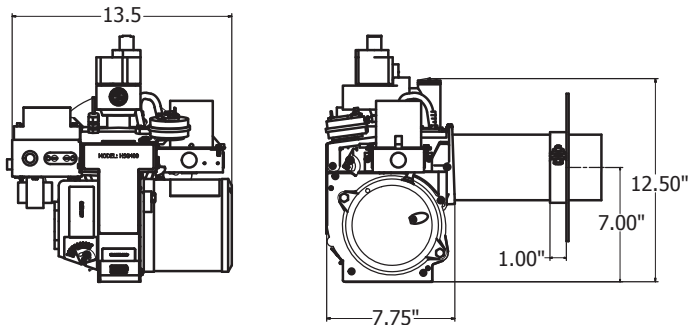
HSG200/HSG400 GAS BURNER

HSG200 - 60M Btu/hr to 200M Btu/hr
HSG400 - 200M Btu/hr to 400M Btu/hr

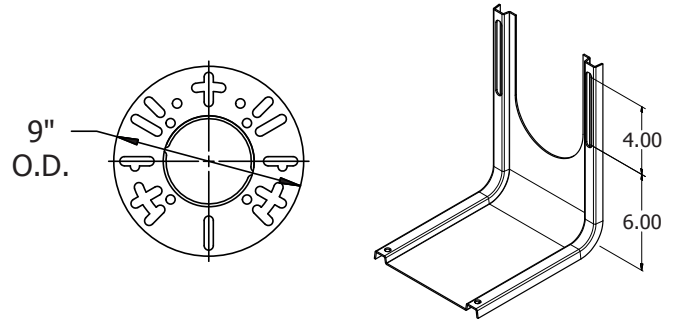
THE BLUE ANGEL™ POWER GAS BURNER - MODEL HSG

Capacities	Firing rates from 60M - 200M Btu/hr. (HSG200), 200M - 400M Btu/hr. (HSG400)
Fuel	Natural or LP Gas, 2" to 4" water column - adjustable.
Controls	24-volt combination control, 3/4" IPS redundant valve. Flamerod sensor with 4 second safety shutdown.
Ignition	Direct spark ignition 7300-volt ignition transformer. Simple removal of top cover for easy access to ignition and sensing components.
Motor	3450 RPM - 115V - 2.4A.
Fan Housing	One-piece Aluminum alloy, die cast housing.
Mounting	Adjustable Flange and Gasket included (Pedestal Mount available.)
Air Tube	4" OD available in standard lengths of 6", 9", and 12" (max. insertion 1" less than overall tube length)
Combustion Head	Stainless steel, precision stamping. No change required for entire firing range.

DIMENSIONS



MOUNTINGS



Adjustable Flange

Pedestal Assembly

Visit www.waynecombustion.com - Downloads, Reference Drawings & Sketches for dimensional details

Complete Burner:

All BLUE ANGEL Model HSG flame retention Gas Burners are shipped completely assembled and test fired. Additional orifices supplied. Combination redundant gas valve and ignition control package installed. The models at right include an adjustable flange with gasket as standard and are generally available for immediate shipment.

Shipping Information:

- Individually cartoned
- Weight: 31-34 lbs.
- 18 burners per pallet

ORDERING INFORMATION

Part No.	Model No.	Tube Length	Capacity - M Btu/hr
62376C	HSG200	6"	60-200
62377C	HSG400	6"	200-400
62378C	HSG200	9"	60-200
62379C	HSG400	9"	200-400
62380C	HSG200	12"	60-200
62381C	HSG400	12"	200-400

Contact Wayne Combustion Systems for information regarding special HSG200 and HSG400 Gas Burners with modified timings that improve burner operation in applications such as bakery ovens and pressure washers.



Valery Arias Grillo <ariasgvalery24@gmail.com>

Consulta quemadores

tecnoequipos@ice.co.cr <tecnoequipos@ice.co.cr>
Para: Valery Arias Grillo <ariasgvalery24@gmail.com>

2 de octubre de 2024, 19:16

Buenas noches Valeria:

Adjunto el quemador que solicito y creamos el mas apropiado para la operación que tiene. Tiene la capacidad de dar de 200.000 hasta 400.000 b.t.us

A este quemador hay que hacerle un pequeño hogar con ladrillo refractario para que la llama caliente estos ladrillos y sirva de base para el quemador.

Si debe llamar a una gasera para que le haga la cañería de 1/2" hacia el quemador. Ellos lo hacen el le ponen el tanque de gas afuera del local de acuerdo a las normas de seguridad.

Precio del quemador.....C1.650.000.00 más el I.V.A 13%

Hogar de ladrillo refractario de 30cm por 30cms por 40cms de largo.....C150.000.00 más el 13% IVA(opcional si usted ya tiene otro trabajando)

TOTAL.....C1.800.000.00 más el 13

%IVA

Forma de pago: 70% con la orden

30% contra entrega

Garantía: 3 meses

Si usted gusta le llevamos los equipos a su taller para que lo vea trabajando.

Atentamente

Cuenta En colones banco de Costa Rica

TECNOEQUIPOS INTERNACIONALES S.A.

CR31015201001024913038

Gerardo Villalobos Quiros — Presidente

TEL: 2249-3305 CEL 8930-1417 SECADORAS Y HORNOS INDUSTRIALES

e-mail: tecnoequipos@jce.co.cr CEDULA JURICA 3-101-162014

<https://www.tecnoequiposcr.com>




DISTRIBUIDOR
AUTORIZADO

Honeywell

INDUSTRIAL
SOLUTION
PROVIDER



[El texto citado está oculto]

 **HSG_200,_HSG_400_Spec_Sheet.pdf**
377K



Quemadores Automaticos S.A. de C.V.

Somos fabricantes de Quemadores industriales, una empresa 100% mexicana con mas de 50 años de experiencia, fabricamos los mejores productos quemadores, hornos y sistemas de calentamiento a medida para cualquier industria.

COTIZACION

GDL-A417

Atendiendo su amable solicitud estamos enviando cotización de los productos requeridos, para nosotros es un placer poner nuestra compañía a su servicio.

NIT	CLIENTE	CONTACTO	FECHA	CIUDAD
GDL-A417			23-sep-2024	Guadalajara
TELEFONO	DIRECCION	E-MAIL	DESCUENTO	T. PAGO
			0%	CONTADO

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
1	QMM-001	<p>QUEMADOR AUTOMATICO MIXTO CON TURBINA DE 20"</p> <p>Quemador industrial completo, trabaja desde 200 mil hasta 5 millones de btu/h</p> <p>Turbina 20"</p> <p>Motor de 1.5 HP monofasico 110/220v</p> <p>Cañones diseñados para gas lp o natural y combustible alterno o diesel</p> <p>Compuerta de aire</p> <p>Piloto</p> <p>Tren de Válvulas Solenoides</p> <p>Válvulas de gas tipo globo</p> <p>Gabinete de quemador</p> <p>Selector de encendido</p> <p>Alarma de falla de flama</p> <p>Control de falla de flama (computadora)</p> <p>Transformador de ignicion</p> <p>Electrodo de ignicion</p> <p>Boquilla para electrodo</p> <p>Fotocelda UV</p> <p>Contactor de encendido</p> <p>Cableado especial y conexiones</p> <p>Base del quemador tipo H</p>	1	Piezas	\$ 65,000.00	\$ 65,000.00
2	GAB-001	<p>Gabinete control de temperatura</p> <p>Pirómetro digital</p> <p>Termopar tipo J de 3 metros</p> <p>Contactor magnético de propósito definido de 40A</p> <p>Selector</p> <p>Cableado especial</p> <p>Gabinete de 25x20x15</p> <p>Llave de seguridad</p> <p>Glándulas NPT 1/2 IP68</p>	1	Piezas	\$ 7,000.00	\$ 7,000.00
						\$ -
						\$ -
						\$ -
						\$ -
						\$ -
						\$ -
						\$ -

Precios en pesos mexicanos.	GRAN TOTAL	\$ 72,000.00
Se requiere 50% de anticipo y 50% para realizar el envío o entrega.	DTO	\$ -
Propuesta valida por el mes en curso al enviar cotizacion.	SUBTOTAL	\$ 72,000.00
Precios sujetos a cambio sin previo aviso.	I.V.A 16%	\$ 11,520.00
No incluye instalacion.	VALOR TOTAL	\$ 83,520.00
Tiempo de entrega de 10 a 20 dias habiles		

ATENTAMENTE:

Ing. Jaime Gutiérrez Hernandez
 33 1242 3126
info@quemadoresdeoccidente.com
www.quemadoresdeoccidente.com

Calle Ciprés 1601 Col. del Fresno, CP 44900 Col. del Fresno, CP 44900

Quedando a sus órdenes para cualquier duda.

La construcción de los quemadores requiere el 50% del precio del producto y restante día de envío o contra entrega.
 Tiempo de entrega de 10 a 20 días hábiles como máximo.
 Garantía de 1 año bajo defecto de fábrica en componentes electrónicos. Productos libres de mantenimiento.
 Cambios de precio sin previo aviso por aumento de divisa americana. Cotizacion valida por mes en curso unicamnte.
 Equipos solicitados por el cliente en capacidad y funcionamiento. Instalacion y puesta en marcha de cada equipo por cuenta del cliente.
 No se aceptan devoluciones
 No incluye envio
 No incluye instalacion
 Quemadores automaticos sa de cv se deslinda de cualquier mal uso de los equipos solicitados por el cliente.

Datos bancarios:

Banco: BBVA Bancomer
A nombre de: QUEMADORES AUTOMATICOS S.A. DE C.V.
CUENTA: 0109919805
CLABE INTERBANCARIA 012320 001099 198056

Banco: BANREGIO
A nombre de: QUEMADORES AUTOMATICOS S.A. DE C.V.
CUENTA: 132021660012
CLABE INTERBANCARIA 05832000026915610





LADRILLO VULCANO

HOJA TECNICA --- Rev. 01/12 – V: 0006

Descripción: Ladrillo Vulcano refractario de uso general, para 1.300 °C. Alta resistencia a la abrasión, ideal para calderas de leña, en calderas y hornos de beneficios, secadores de arroz, hornos de cal, etc.

<u>Propiedades</u>	<u>Unidades Inglés</u>	<u>Unidades SI</u>	
Temperatura Máxima de Aplicación	2372 °F	1300 °C	
Densidad (ASTM C20)	128 lb/ft ³	2050 Kg/m ³	
Porosidad Aparente (ASTM C20)	20-22%		
Clasificación	Low Duty	Servicio Liviano	
Módulo de Ruptura (ASTM C133) Calcinado a 2282 °F (1250 °C)	566 lb/in ²	3.9 MPa (N/mm ²)	
Resistencia a la Compresión (ASTM C133) Calcinado a 2282°F (1250 °C)	4350 lb/in ²	30 MPa (N/mm ²)	
Cambio Lineal Permanente (ASTM C113)	0.6% - 5 hrs a 1832 F° (1000 °C)		
Conductividad Térmica			
	a 205 °C / 400 °F	Btu-in/hr-ft ² ·°F	<u>W/m·°C</u>
	a 425 °C / 800 °F	10.6	1.53
	a 870 °C / 1600 °F	10.9	1.57
a 1095 °C / 2000 °F	11.1	1.63	
	11.7	1.69	
Composición Química	Alúmina	30.0%	Al ₂ O ₃
	Sílice	65.0%	SiO ₂
	Óxido de Hierro	1.7%	Fe ₂ O ₃
	Catalizadores	0.5%	MgO & CaO
	Alcalinos	2.8%	Na ₂ O & K ₂ O

Los datos de pruebas mostrados se basan en resultados medios sobre muestras de producción y están sujetas a variaciones de normalidad en las pruebas individuales.

MetaVGO 120

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

MetaVGO 120 es un aceite base altamente refinado y puede utilizarse en una amplia variedad de aplicaciones

CARACTERÍSTICAS

El aceite MetaVGO 120 de Metalub ha sido sometido a un estricto proceso de re-refinado, libre de contenido de aromáticos, con un nivel bajo de azufre y cenizas. Posee un poder calorífico similar al diésel. Tiene un color naranja claro.

APLICACIONES

MetaVGO 120 se recomienda como un aceite de proceso en la producción de diversos tipos de hule y polímeros, simplificando su proceso de producción, entre otras aplicaciones se puede considerar en la producción de:

- Lubricación de cierras para corte de madera estacionarias y portátiles
- En talleres de rectificación como aceites para bruñir
- Como base para la producción de lubricantes
- Aislamiento de alambres y cables
- En la producción de adhesivos y selladores
- Aceites extensores de asfalto
- Como mejorador de las propiedades lubricantes de combustible Diesel
- Fluidos de perforación
- Pinturas
- Su poder calorífico lo hace apto para funcionar en sistemas de combustión, como una solución de economía circular

Propiedades Típicas:

Nota: Los valores mostrados arriba son representativos de la producción actual y pueden variar dentro de rangos modestos.

Característica	Unidad	Método	Mínimo	Máximo
Viscosidad cinemática 40°C	cSt	ASTM D-445	22	27
Viscosidad cinemática 100°C	cSt	ASTM D-445	4.5	
Índice de viscosidad	-	ASTM D-2270	107	
Gravedad específica @15°C (60°F)	-	ASTM D-4052	0.8535	
Color ASTM	-	ASTM D-6045		3
Apariencia	-	Visual	Claro y brillante	
Punto de inflamación °C	°C	ASTM D-92	210	
Punto de fluidez °C	°C	ASTM D-97		-15
Pérdida por evaporación (Noack) % m/m @ 250°C	% wt	ASTM D-5800		16
Contenido de Cenizas	%	ASTM D874		<0.01
Poder Calórico	MJ/kg	ASTM D240	45	
Azufre (% wt)	% wt	ASTM D-4294		< 0.1
Cloro	ppm	ASTM D-4929		< 50