

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA



DISEÑO DE HORNO DE FUNDICIÓN Y DEL PROCESO SEMIAUTOMÁTICO DE LA FABRICACIÓN DE CALIBRADORES DE ALUMINIO, EN LA EMPRESA EQUIPOS EL PRADO S. A.

Informe de Práctica de Especialidad para optar por el Título de Ingeniera en Mantenimiento Industrial, Grado Licenciatura

REALIZADO POR:

Hillary Fabiola Ramírez González

Cartago, Agosto 2020

CARTA DE ENTENDIMIENTO

Fecha: 2020-08-02

Señores
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Sistema de Bibliotecas del Tecnológico

Yo Hillary Fabiola Ramírez González
carné No. 2015097627, si autorizo no autorizo, al Sistema de Bibliotecas del Tecnológico
(SIBITEC), disponer del Trabajo Final de graduación, del cual soy autor, para optar por el grado
de Licenciatura, en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial
, presentado en la fecha 2020-08-06, con el título Diseño de horno de
fundición y del proceso de semiautomático de la fabricación de calibradores de aluminio, en la empresa
Equipos El Prado S.A.

para ser ubicado en el Repositorio Institucional y Catálogo SIBITEC, con el objetivo de ser visualizado a través de la red Internet.

Firma de estudiante: 

Correo electrónico: hiramirez96@gmail.com

Cédula No.: 207580637

Hoja de Información

Información del Estudiante:

Nombre: Hillary Fabiola Ramírez González.

Cédula: 2 0758 0637

Carné ITCR: 2015097627

Dirección de residencia en época lectiva: Pavas, San José.

Dirección de residencia en época no lectiva: Upala, Alajuela.

Teléfono en época lectiva: 8441 97 49.

Correo electrónico: hiramirez96@gmail.com

Información del Proyecto:

Nombre del proyecto: “Diseño de horno de fundición y el proceso automático de la fabricación de calibradores de aluminio, en la Empresa Equipos El Prado S. A.”

Profesor asesor: Ing. José Alberto Garro Zavaleta

Horario de trabajo del estudiante: Lunes a Jueves, 7:00 a.m. – 4:30 p.m.

Información de la Empresa:

Nombre: Equipos El Prado S.A.

Zona: Heredia.

Dirección: Contiguo a Molinos Modernos (Galletas Cuétara), Calle la Rusia, San Francisco.

Actividad principal: Diseño y fabricación de equipo industrial de grado alimenticio.

Asesor industrial: Ing. Mauricio Alfaro Martínez

Teléfono: 2239 47 10.

Dedicatoria

Esta meta alcanzada es el resultado de todos los años de esfuerzo para poder culminar mis estudios en Ingeniería en Mantenimiento Industrial, se lo dedico a Dios, por siempre estar presente en mi vida. A mis padres David Ramírez y Aida González, por el apoyo y su lucha por brindarme oportunidades que ellos no tuvieron. Además, a mis tíos César Ramírez y Elizabeth Jiménez, ya que siempre estuvieron presentes en este proceso. Y finalmente, a mi prima Elianeth Ramírez, por su compañía, ayuda y consejos brindados.

Sin la compañía de estas personas, esto no podría ser posible.

Agradecimiento

En primera instancia, agradezco a Dios, por brindarme la oportunidad de culminar mis metas planteadas hasta la fecha, principalmente por permitirme gozar de buena salud y darme la capacidad tanto intelectual como disciplinaria para realizar mis estudios en el Tecnológico de Costa Rica.

Agradezco a la empresa Equipos El Prado S.A. por haberme permitido realizar mi práctica profesional y confiar en mis habilidades.

Quedo profundamente agradecida con mis colaboradores en la empresa, debido a su apoyo, paciencia, consejos y recomendaciones.

A mi asesor industrial Ing. Mauricio Alfaro, le agradezco su confianza, apoyo y recomendaciones durante este proceso.

A mis hermanos, que de una u otra manera estuvieron presentes y sirvieron de apoyo y fuente de motivación e inspiración para salir adelante.

A mi familia en general (abuelos, tíos, primos, entre otros) por los consejos brindados, apoyo y alegría.

Agradezco profundamente a mis amigos por apoyo en momentos difíciles, por brindarme alegrías y motivación.

¡Gracias por estar siempre!

Índice

Resumen.....	13
Abstract	14
Descripción de la Empresa	15
Reseña de la Empresa	15
Descripción del Proceso Productivo	16
Calibradores:	16
Maquinaria Industrial:.....	17
Definición del Proyecto	18
Justificación del Proyecto	18
Planteamiento del Problema	19
Objetivos	21
Objetivo General	21
Objetivos Específicos.....	21
Metodología.....	22
Cronograma de trabajo.....	24
Marco Teórico	25
Aspectos generales	25
Aluminio como material no férreo	26
Fundición del aluminio.....	26
Horno de fundición de aluminio	27
Tipos de hornos	27
Definición del horno de crisol.....	28
Materiales Refractarios.....	30

Fibra cerámica	31
Criterios de selección para refractarios.....	32
Sistema de suministro de energía	33
Reacción de combustión.....	34
Llama	35
Poder calorífico	35
Principios de funcionamiento del quemador	35
Instalación del quemador.....	36
Conservación del calor dentro del horno	38
Proceso de fundición	38
Crisol	39
Manejo de crisoles.....	40
Instalación del crisol dentro del horno.....	42
Molde.....	43
Controlador Lógico Programable (PLC).....	44
Sensores de temperatura	45
Pistón neumático	45
Extracción de vapores.....	46
Chimenea	46
Aspectos normativos de acuerdo con distancias entre elementos:.....	46
Normativa aplicada para otros elementos:	48
Ventilación Industrial.....	49
Extractores de aire	49
Campana de extracción de vapores.....	50
Filtración.....	50

Propuesta de Diseño	52
Diseño de horno de crisol.....	52
Parámetros de diseño.....	52
Dimensionamiento del horno	54
Demanda energética.....	55
Cálculo de la energía que se requiere para llevar a cabo la fusión del Aluminio.....	55
Cálculo de pérdidas energéticas	57
Cálculo de la potencia del quemador	67
Diseño sistema de extracción de vapores	68
Diseño de automatización de molde.....	71
Presupuesto del Proyecto.....	73
Conclusiones	74
Recomendaciones	75
Referencias Bibliográficas	76
Apéndice.....	78
Apéndice A. Diagrama de horno de fundición de aluminio y extracción de vapores	78
Apéndice B. Diagrama programación para encendido y apagado del horno y el cierre y apertura del molde de calibradores	79
Apéndice B. Diagrama de molde para calibradores de aluminio y canal para refrigerante	80
Apéndice D. Manual de proceso de fundición y moldeo de calibradores	82
Apéndice E. Manual mantenimiento del horno de crisol y molde	93
Anexos.....	95

Anexo A. Coeficiente de pérdidas de carga para campanas.....	95
Anexo B. Nomograma para obtener el diámetro equivalente de un ducto cuadrado.....	96
Anexo C. Pérdida de carga por rozamiento del aire para conductos circulares	97
Anexo D. Especificación de filtro de aire	98
Anexo F. Ficha técnica para extractor	99
Anexo G. Nomograma por pérdidas de carga en ampliaciones de ductos.	101
Anexo H. Cotización de equipo (Crisol y base)	102
Anexo I. Cotización de equipo (Ladrillos, mortero, fibra cerámica)	103
Anexo J. Cotización de equipo (Quemador).....	105

Índice de Tablas

Tabla 1. Formas comunes de crisoles para la fundición de metales.....	40
Tabla 2. Datos para determinar la depuración del aire	51
Tabla 3. Parámetros iniciales para diseñar el horno	53
Tabla 4. Dimensiones del horno	54
Tabla 5. Propiedades del Aluminio	56
Tabla 6. Parámetros de los materiales para el diseño del horno	56
Tabla 7. Parámetros del aire.....	57
Tabla 8. Calor requerido para fundir Aluminio.....	57
Tabla 9. Pérdidas por conducción en paredes.....	60
Tabla 10. Pérdidas por convección en paredes	60
Tabla 11. Pérdidas por radiación en las paredes.....	61
Tabla 12. Pérdidas por conducción y convección en tapa aislante.....	62
Tabla 13. Pérdidas por radiación en tapa aislante.....	63
Tabla 14. Pérdidas por conducción y convección en tapa de ladrillo refractario	63
Tabla 15. Pérdidas por radiación en tapa de ladrillo refractario.....	64
Tabla 16. Pérdidas por radiación en abertura de la tapa del horno	64
Tabla 17. Pérdidas de calor por conducción en el fondo del horno	65
Tabla 18. Pérdidas de calor por radiación en el fondo del horno.....	65
Tabla 19. Resumen pérdidas totales por transferencia de calor.....	65
Tabla 20. Parámetros del gas propano.....	66
Tabla 21. Resumen de pérdidas por accesorios o longitudinales en el sistema de extracción de humos	71
Tabla 22. Entradas y salidas para la operación del Horno.....	71
Tabla 23. Entradas y salidas para la operación del molde.....	72
Tabla 24. Costo total de elementos que forman parte del horno de crisol y el molde para la fabricación de calibradores de aluminio.....	73

Índice de Figuras

Figura 1. Estructura organizacional de la Empresa	15
Figura 2. Proceso de construcción de calibradores	16
Figura 3. Proceso de construcción de maquinaria industrial.....	17
Figura 4. Diagrama de Gantt.....	24
Figura 5. Horno de crisol.....	33
Figura 6. Dimensiones de brida de montaje ajustable	35
Figura 7. Vista seccionada de la base del horno	37
Figura 8. Tipos de llama.....	37
Figura 9. Fracturas en crisoles ocurridas por el mal uso.....	41
Figura 10. Base del Crisol.....	42
Figura 11. Distancia entre tapa del horno y el borde superior del crisol	43
Figura 12. Distancia mínima de la chimenea con respecto a la cumbrera del edificio	47
Figura 13. Opción a. Distancia requerida con respecto a edificios colindantes	47
Figura 14. Opción b. Distancia requerida con respecto a edificios colindantes	47
Figura 15. Distancia entre otros elementos en el mismo tejado.....	48
Figura 16. Dimensiones del crisol (cotas en mm)	53
Figura 17. Diámetro interior y exterior del horno (cotas en mm).....	55
Figura 18. Estudio térmico del horno	58
Figura 19. Propiedades de temperatura interna iniciales para hacer el estudio	58
Figura 20. Dimensiones del horno de crisol	59
Figura 21. Campana elevada.....	69
Figura 22. Campana extracción de humos	70
Figura 23. Diagrama de horno de fundición de aluminio y extracción de vapores	78
Figura 24. Diagrama de encendido del horno.....	79
Figura 25. Diagrama de cierre y apertura del molde.....	79
Figura 26. Soporte y molde para calibradores de aluminio	80

Figura 27. Juego de placas del molde	81
Figura 28. Canal que recorre el refrigerante	81
Figura 29. Equipo de Protección	82
Figura 30. Encendido del horno	82
Figura 31. Encendido del Extractor	83
Figura 32. Fundente de cobertura, protección, limpieza y modificación de aluminio	83
Figura 33. Apagado del horno.....	83
Figura 34. Escoria	84
Figura 35. Apagado del Extractor	84
Figura 36. Molde de Lingotes.....	84
Figura 37. Lingotes	85
Figura 38. Encendido del horno	85
Figura 39. Mangueras de refrigerante.....	86
Figura 40. Material reciclado.....	86
Figura 41. Apagado del horno.....	87
Figura 42. Fundente de cobertura, protección, limpieza y modificación de aluminio	87
Figura 43. Barra de Boro.....	87
Figura 44. Escoria	88
Figura 45. Tanque de Nitrógeno	88
Figura 46. Escoria	89
Figura 47. Cuchara	89
Figura 48. Escoria	90
Figura 49. Cepillo de acero para taladro	90
Figura 50. Pintura	91
Figura 51. Talco	91
Figura 52. Aplicación de pintura.....	92

Resumen

El proyecto de diseño de un horno de fundición y del proceso semiautomático de la fabricación de calibradores de aluminio será realizado para la empresa Equipos El Prado S. A.

Se requiere aumentar la producción de calibradores de aluminio a un 15%, esto mediante el diseño y fabricación de un horno de fundición de aleaciones no ferrosas, el cual debe cumplir con una capacidad de 60 kg de material fundido, esto se definió mediante la elección de un crisol, con las dimensiones internas convenientes para cumplir el objetivo. El crisol se va a ubicar en el interior de la cámara de combustión cilíndrica, esta va a estar conformada por material refractario, tanto ladrillo como aislante, así como una carcasa metálica. Por otra parte, el diseño de horno contempla su ubicación en el recinto, por lo tanto, se procuró hacer el diseño lo más compacto posible, con dimensiones aproximadamente de 1000 mm de diámetro y 1000 mm de altura. Se llevó a cabo un análisis térmico para poder conocer la potencia requerida por el horno al lograr la fundición completa del material, la cual es de aproximadamente de 33 kW.

Por otra parte, se realizó el diseño de un molde que procure evitar operaciones de maquinado posteriores, solo se llevaría a cabo el proceso de acabado final en una fresadora CNC, debido a la naturaleza de la pieza. El fin del molde es que sea automatizado y que mediante el uso de pistones y monitoreo de temperatura expulse el producto en el momento idóneo. Es importante realizar un sistema de refrigeración mediante un canal que recorra todo el molde y ayude a realizar este proceso de una manera más rápida.

Debido a la naturaleza del horno, el tipo de material y químicos desgasificantes encontrados en este proceso, se diseña un sistema de extracción de vapores compuesto por una campana, un ducto, filtro y un ventilador extractor de techo. Se diseña una chimenea con una altura mínima de 5,23 m, de acuerdo con la Norma UNE 123. 001.

Se recomienda emplear rutinas de mantenimiento en este tipo de equipos electromecánicos.

Palabras clave: Horno, fundición, molde, extracción de vapores.

Abstract

This project is about the design of a smelting furnace and the semi-automatic process for the manufacture of aluminum calibrators that will be constructed in Equipos El Prado S.A. Company.

It is required to increase the production of aluminum calibrators about a 15%, this may be achieved through the design and manufacture of a non-ferrous alloy-smelting furnace, which must meet a capacity of 60 kg of molten material, and this is defined by the choice of a crucible with convenient internal dimensions to meet the objective. The crucible will be located inside the cylindrical combustion chamber, which will be made of refractory material, both brick and insulation, as well as a metal shell. The furnace design contemplates its location in the enclosure; therefore, the design is made as compact as possible, with dimensions approximately 1000 mm diameter and 1000 mm height.

A thermal analysis was necessary to know the power required by the furnace when achieving the complete melting of the material, which is approximately 33 kW.

The design of a mold that tries to avoid subsequent machine operations was carried out. The final finishing process would be necessary in a CNC milling machine, due to the nature of the part. The purpose of the mold is that it will be automated, with aims of pistons and temperature monitoring, expelling the product at the ideal time. It is important to make a cooling system through a channel that records the entire mold and helps execute the process faster.

Because of the nature of the furnace, the type of material, and degassing chemicals found in this process a vapor extraction system is designed consisting of a hood, a duct, a filter, and a ceiling extractor fan. A chimney with a minimum height of 5,23 meters is designed, in accordance with UNE 123.001 Standard.

It is recommended to use maintenance routines according to this type of electromechanical equipment.

Keywords: Furnace, foundry, mold, vapor extraction.

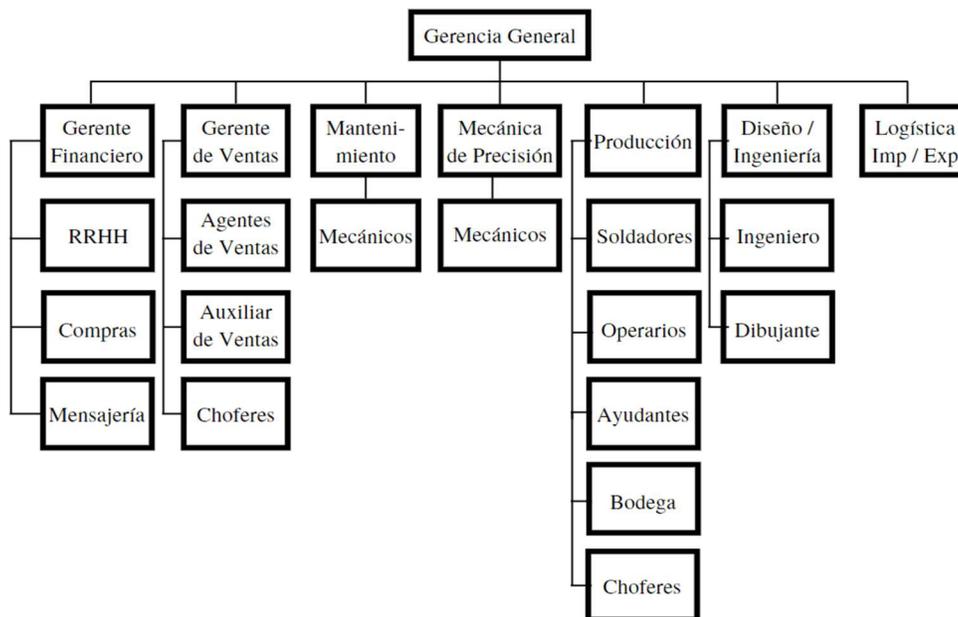
Descripción de la Empresa

Reseña de la Empresa

Equipos El Prado se ubica en Heredia, Costa Rica y cuenta con cuarenta años de dar servicio en la industria alimenticia tanto nacional como internacional, especialmente a bananeras y piñeras, con equipo de transporte (Sistemas de Cable Vía). Con más de quince años de realizar el diseño y fabricación de transportadores a varias industrias, también presenta junto a la experiencia, una nueva y variada línea de productos que pueden operar sus materiales de modo eficiente, donde se requiera.

Incluso cuando uno de sus principales mercados han sido las compañías de producción bananera, los productos fabricados han sido beneficiosos para productores de cacao, flores y madera. También, los conveyors se utilizan en operaciones como embotelladoras de refrescos gaseosos y despenseras de productos comestibles.

La estructura organizacional de la compañía es la siguiente:



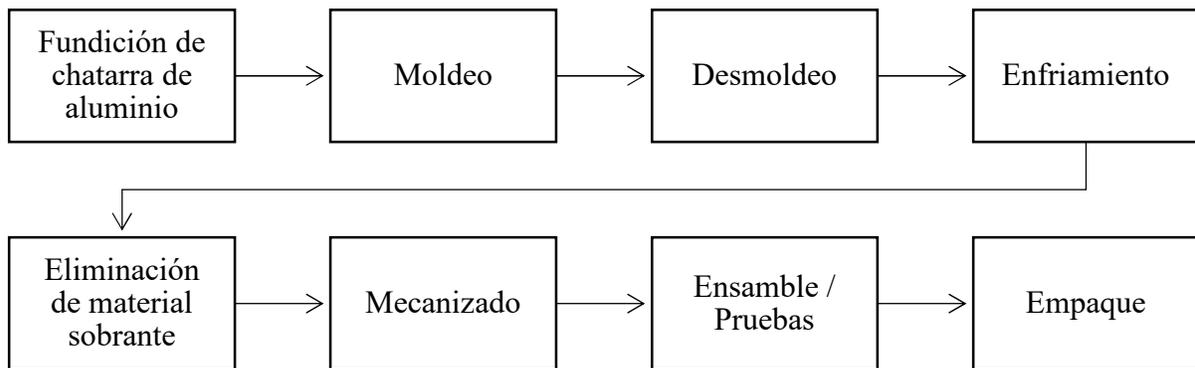
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 1. Estructura organizacional de la Empresa

Descripción del Proceso Productivo

Esta empresa cuenta con procesos productivos variados de acuerdo con el tipo de producto que se vaya a construir, dos de los principales se describen a continuación:

Calibradores:

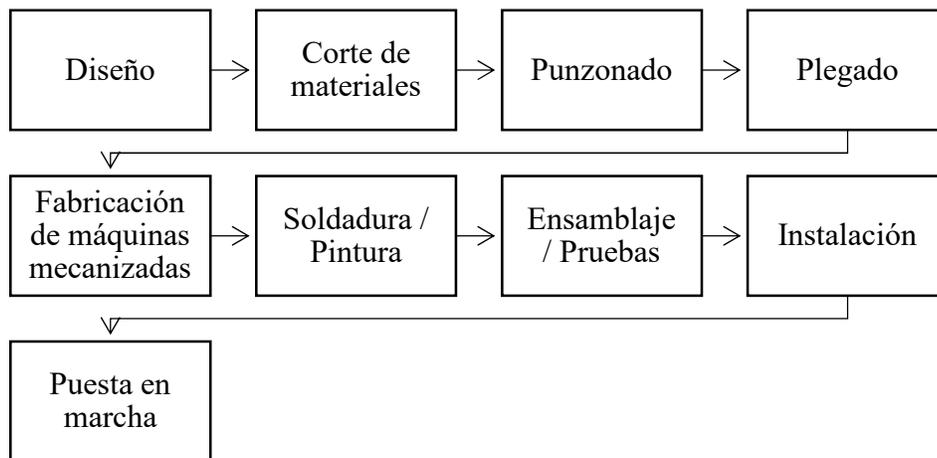


Fuente: Elaboración Propia.

Figura 2. Proceso de construcción de calibradores

Este producto tiene una alta demanda, debido a que la empresa suministra calibradores a todas las compañías bananeras del país. La etapa del mecanizado requiere mucha precisión, debido a la naturaleza de este.

Maquinaria Industrial:



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3. Proceso de construcción de maquinaria industrial

Cabe destacar que todos los procesos son elaborados en la empresa, ya que se cuenta con todos los insumos necesarios para llevar a cabo el producto, además cuentan con personal calificado para realizar la instalación de este en la empresa a la cual le venden el producto.

Definición del Proyecto

¿Se pueden aumentar las ventas de calibradores en la Empresa Equipos El Prado S.A. mediante el diseño de un horno de fundición y el proceso semiautomático del desarrollo de calibradores de aluminio considerando las normas correspondientes y criterios de ingeniería?

Justificación del Proyecto

En la Empresa Equipos El Prado S.A. se requiere aumentar las ventas de calibradores de banano, debido a la demanda existente, además, se tiene como meta alcanzar un total del 15% de ventas de este producto en sus dividendos anuales, ya que actualmente les corresponde un 4% de este monto. Es de suma importancia mejorar el sistema de construcción de calibradores de aluminio para cumplir con el objetivo.

La solución propuesta está compuesta de diferentes etapas, la selección de cada una se basa en la necesidad que se tiene. Primero que todo, se requiere fundir un mayor volumen de aluminio, actualmente, se requieren 25 kg de aluminio fundido para fabricar 150 calibradores, por lo tanto, se debe aumentar al menos a 29 kg. Además, se planea adquirir un nuevo crisol, con una capacidad para albergar 60 kg de aluminio fundido.

En la propuesta de diseño, se van a tomar en cuenta las normas NFPA 54 que trata del Código Nacional de Gas Combustible, debido a que el horno requiere un quemador de gas. Por otra parte, mediante el uso de un controlador programable, se va a fiscalizar la temperatura de trabajo del horno en tiempo real.

Por otra parte, se va a rediseñar el molde de los calibradores de banano, con el fin de que este sea más efectivo y evitar el exceso de material producido, asimismo, el diseño contempla el canal que se va a utilizar para el paso de flujo de refrigerante. Además, se pretende diseñar una máquina automatizada de cierre y apertura de los moldes, en la cual se van a usar sensores y pistones, para llevar a cabo la función

en un tiempo óptimo, con esto se reduce el lapso de fabricación de las piezas, recursos y se pueden construir en una mayor masa y menor tiempo.

Otro requisito en este proyecto es realizar el diseño de un sistema de extracción de vapores, principalmente por las implicaciones ambientales y condiciones del operario, este se basa en una campana que cuente con filtros para que el aire liberado al ambiente no posea grandes concentraciones de contaminantes.

Planteamiento del Problema

Según datos recolectados durante el año 2018 por el Departamento Financiero, se tiene que, de las ventas totales de la empresa, un 4% pertenece a los calibradores de banano. Lo cual representa una importante suma de dinero; sin embargo, debido a la demanda y otros factores, la empresa tiene como objetivo aumentarlo en un 15% del total anual de las ventas. Para ello, se requiere mejorar la disponibilidad y entrega del producto, actualmente, se pueden fabricar al menos tres mil unidades en una semana de trabajo, por ejemplo, esta cantidad de días se podría disminuir a la mitad. Con respecto al equipo utilizado, se deben tomar en cuenta aspectos como la fiabilidad y mantenibilidad. La fabricación de los calibradores involucra varios procesos, este se esquematizó anteriormente, y presenta una serie de problemas que se detallan a continuación. Para aumentar la producción de este, se debe intervenir en varias etapas de su fabricación.

En la actualidad, la empresa cuenta con un horno deteriorado, la temperatura externa de este es de 250°C, además, la temperatura del material fundido medida fue de 904°C, cuando esta debe estar en un rango de 600-800°C, con esto se evidencia que se está desperdiciando combustible, debido a que se calienta de más. Además, el proceso de moldeo de las piezas es totalmente manual, lo cual en el momento de realizar la etapa de desmoldeo, el producto se extrae con el uso de un martillo que golpea unos resortes y la pieza es lanzada al suelo, la pieza se puede agrietar, esto también influye en el tiempo que se requiere para realizar el proceso.

Por otra parte, en la siguiente fase del proceso que corresponde al moldeo, debido al diseño de este, se tiene un exceso de material, lo que ocasiona que la

pieza deba pasar por un segundo proceso de maquinado, para extraer ese sobrante, y finalmente a una máquina CNC para darle el acabado final, lo cual significa un proceso extra en el producto final.

En todo este proceso se presentan diversos problemas, principalmente, la pérdida de energía en el horno; para el acabado se debe someter a dos procesos con dos máquinas CNC diferentes, de las cuales, al menos una se puede emplear en otro proyecto, por lo tanto, se tienen pérdidas de tiempo, consumo, además del desperdicio de material.

Finalmente, el sistema de extracción de gases actual no cuenta con filtración, por lo cual el contenido de contaminantes se libera al medio, y el diseño de la campana debe ir de acuerdo con las dimensiones del horno proporcionado.

En resumen, el fin de este proyecto es disminuir el tiempo y costo de producción de las piezas de aluminio, debido a que se cuenta con procesos ineficientes, las máquinas CNC que se emplean para realizar intervenciones en el acabado de las piezas se podrían estar utilizando en otro proceso. Por otra parte, al fundir una cantidad mayor de material, se requiere usar menos el horno, además de un mejor diseño en el cual haya menos pérdidas por transferencia de calor va a ayudar a disminuir el consumo en la empresa.

Objetivos

Objetivo General

1. Diseñar un horno de fundición y el proceso semiautomático del desarrollo de calibradores de aluminio para incrementar las ventas del producto fabricado en la Empresa Equipos El Prado S.A., mediante el uso de normas correspondientes y criterios de ingeniería.

Objetivos Específicos

1. Diseñar un horno de fundición de aluminio con quemador de gas, mejorando con esto el proceso productivo de la Empresa Equipos de Prado S.A., con base en la norma NFPA 54 (Código Nacional de Gas Combustible).

Indicador: Diagrama.

2. Rediseñar los moldes de los calibradores de banano, buscando una reducción en los procesos posteriores de mecanizado, basado en el diseño actual, así como la investigación de nuevas tecnologías.

Indicador: Diagrama.

3. Diseñar el sistema de apertura y cierre automático para el desmolde de las piezas de aluminio, basado en la investigación de sistemas similares, facilitando así la realización de dicho proceso.

Indicador: Diagrama de programación.

4. Diseñar el sistema de extracción de gases bajo los estándares de ASHRAE y criterios de ingeniería adecuados al espacio y facilidades.

Indicador: Diagrama.

Metodología

Con el fin de llevar a cabo el proyecto, y cumplir con las metas de una manera más eficiente, se van a seguir los siguientes pasos durante el desarrollo de este:

- Definición y reconocimiento del problema planteado. Esto se interiorizó en los anteriores apartados, se debe aumentar la producción de calibradores de banano, empezando por un incremento en la cantidad de material que se requiere fundir, hasta tener un mejor sistema de refrigeración y poder fabricar las piezas en una menor cantidad de tiempo.
- Obtención y análisis de información. La información necesaria para realizar el proyecto se ha obtenido y se seguirá obteniendo de la siguiente forma:
 - Consulta a ingenieros y técnicos con conocimiento en las distintas áreas: Son de vital importancia, debido a que el estudiante no cuenta con tanto conocimiento en temas específicos.
 - Referencias bibliográficas: Se recurrió a libros, fuentes de páginas web e investigaciones similares al proyecto para resolver un sinnúmero de problemas. Para tener fundamento y sentar bases sólidas, en el desarrollo del marco teórico, se consultan estas fuentes a las cuales se recurrió.
 - Evaluación de las opciones o alternativas y selección del método de una solución: Se realizó un estudio bibliográfico para concluir cuál es el tipo de horno idóneo a diseñar, según la aplicación, además, de las recapitulaciones necesarias conseguir el sistema automatizado que se requiere.
- Ejecución de la solución. Seguidamente se muestra el modo que se va a seguir para ejecutar el desarrollo de la solución:
 1. Reconocimiento del sistema de operación a mejorar. Primeramente, se efectuó una investigación acerca del proceso que se deseaba mejorar, mediante el diseño y automatización; esto se logró gracias a una visita a la empresa Equipos El Prado S.A.

2. Elección de la solución a efectuar. La solución que se va a seleccionar se basa en investigación y análisis económico, para asegurar la viabilidad del proyecto y la posible implementación de este.
3. Diseño. Con la solución elegida, se procede a realizar el diseño del equipo, tomando en cuenta todas las variables necesarias, tanto de la parte mecánica como de la de control eléctrico.
4. Cotización del equipo. Si bien es cierto que algunos elementos se pueden fabricar dentro de la empresa, se debe tomar en cuenta el gasto que estos involucran, además, muchos de los componentes se deben comprar en otros sitios.
5. Programación del proceso automático. Antes de programar el equipo se debe investigar acerca de los lenguajes de programación de ellos.
6. Documentación. Se realiza una documentación a lo largo del proyecto para ir actualizando el informe final. Y al terminar se digitará un manual de usuario para la correcta operación de este y sus debidas rutinas de mantenimiento.

Cronograma de trabajo

Con el fin de llevar un mejor control y evaluación del avance del proyecto, se realizó un Diagrama de Gantt con las tareas y fechas respectivas en las que se debía iniciar y finalizar cada asignación. A continuación, se muestra dicho diagrama.

ACTIVIDAD	MES	Febrero			Marzo		Mayo			Junio				Julio			Agosto	
	FECHA	.10-14	.17-21	.24-28	.02-06	.09-13	.11-15	.18-22	.25-29	.01-05	.08-12	.15-19	.22-26	.28-03	.13-17	.20-24	.27-31	.03-07
	SEMANA ITCR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Establecimiento de objetivos y metodología a seguir.																	
2	Diseño de Moldes de calibradores de aluminio (Inventor)																	
3	Primera visita del profesor guía																	
4	Cálculos y diseño de Horno de fundición (Inventor)																	
5	Cálculo y diseño de sistema de extracción (AutoCAD)																	
6	Segunda visita del profesor guía																	
7	Selección de equipo necesario																	
8	Cotización																	
9	Diseño semiautomático de desmoldeo de piezas																	
10	Análisis financiero																	
11	Determinar rutinas de Mantenimiento																	
12	Tercera visita del profesor guía																	
13	Entrega de borrador impreso																	
14	Entrega de resumen ejecutivo																	
15	Revisión con filólogo																	
16	Entregar a asesor industrial 1 carpeta con el proyecto final de graduación y solicitar carta de recibido.																	
17	Entregar carta de recibido de la empresa al coordinador																	
18	Estudiante entrega al coordinador una carpeta con el proyecto final de graduación, carta filólogo, carta de entendimiento de la biblioteca, carta de recibido de la empresa.																	
19	Exposición																	

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Office Excel 2016.

Figura 4. Diagrama de Gantt

Marco Teórico

Aspectos generales

El comercio de banano en Costa Rica posee una gran importancia a nivel socioeconómico, debido a que actualmente, el “país es uno de los principales productores a nivel mundial con una productividad promedio de ciento veinte millones de cajas al año”, según datos de la Corporación Bananera Nacional.

En la norma CODEX STAN 205-1997, se especifican algunos de los requerimientos con los que deben cumplir los productores de banano a nivel mundial:

- Deben encontrarse enteros, limpios, de consistencia firme, sin pistilos y con el pedúnculo intacto.
- Estar prácticamente exentos de magulladuras, malformaciones o curvaturas anormales de los dedos.
- Estar exentos de humedad externa anormal, olor y/o sabores extraños.

De la misma manera, la norma clasifica los bananos de acuerdo con su tamaño. Para ello se requiere el uso de calibradores para garantizar que la longitud y grosor del banano se encuentre dentro de un determinado rango.

En la presente sección se sustenta la solución al problema planteado, que pretende mejorar el proceso de fabricación de calibradores de banano, el cual se divide en diferentes etapas. Se va a definir el mejor tipo de horno para la aplicación que se necesita llevar a cabo, así como el sistema de automatización idóneo para estos casos.

Se utiliza como materia prima el Aluminio, para llevar a cabo los calibradores de banano, por lo tanto, se deben conocer sus características y la viabilidad a la hora de la fabricación de las piezas.

Aluminio como material no férrico

Se conoce como una aleación no ferrosa a un material que no presenta como principal metal de aleación al hierro, por lo tanto, una aleación de aluminio es una de estas, además, debido a su ligereza, endurecibilidad mediante la deformación, resistencia a la corrosión y en comparación con metales ferrosos, su precio relativamente bajo, es una de las aleaciones no ferrosas más importantes y utilizadas en la industria.

En ingeniería, el aluminio es muy empleado, por las propiedades que presenta. La densidad del aluminio es realmente baja (2700 kg/m^3), es muy resistente a la corrosión y su mecanización es muy sencilla, este último punto, es de suma importancia, debido a que en el proceso en el que se va a emplear, es requerido realizar procesos de acabado final a las piezas moldeadas, mediante la fundición del aluminio. Cabe destacar, que este es un material fácil y barato de reciclar.

Fundición del aluminio

Generalmente, las aleaciones de aluminio se caracterizan principalmente por ser unas de las más manejables, su punto de fusión se encuentra en un rango de 600°C a 800°C . Las propiedades que presentan mayores ventajas sobre otros metales son: “su peso ligero, un amplio intervalo de propiedades de resistencia que se pueden obtener a través de tratamientos térmicos y su facilidad de maquinado” (ASM committe, 1998). El empleo del aluminio se justifica debido a la amplia gama de usos que se les puede dar, principalmente en piezas moldeadas, como se tiene en el caso de estudio de este proyecto, donde los calibradores de banano son fabricados en aluminio.

En su mayoría, los metales al solidificarse tienden a disminuir su volumen. Según la asociación Arpal, en aleaciones de aluminio, la contracción volumétrica al pasar de estado líquido a sólido está representado en un intervalo de 3,5 a 8,5%. Por otra parte, puede ocurrir algún tipo de fisura en el material al darse el cambio de estado, al producirse una cantidad mayor de contracción y al

presentarse una menor resistencia a los esfuerzos debido a las condiciones geométricas del molde.

Horno de fundición de aluminio

Actualmente, la fundición se define como uno de los procesos más simples y prácticos para realizar la fabricación de elementos de todo tipo de complicación en cualquier tipo de metal. Un metal que puede ser fundido puede ser vertido en un molde para tomar la forma que este tiene impresa.

Por otra parte, el hecho de reutilizar sobrantes de material de otros procesos ya sea torneado, fresado u otro, se convierte en un aliado fundamental a la hora de evitar realizar gastos innecesarios de dinero; sin embargo, al estar expuesto a otros agentes como aceite, grasa o suciedad del entorno en el que se trabaja, se necesita hacer uso de algunos desgasificantes u otros elementos químicos. El horno, sus componentes y el medio, involucran otro tipo de cuidados o detalles a la hora de hacer el diseño y la ejecución de este.

Para llevar a cabo la fabricación de calibradores de aluminio, se requiere emplear el horno de fundición en dos ocasiones, en la primera, se funde la chatarra, a esta se le agregan químicos como desgasificantes, con el fin de tener el material puro y limpio, se solidifica en forma de lingote. Posteriormente, a la hora de realizar el moldeo respectivo de calibradores, se funden los lingotes previamente preparados y se procede a verter el material en los moldes diseñados para el producto requerido.

Tipos de hornos

Los hornos usados, comúnmente, para fundir materiales, en este caso metales así como sus aleaciones varían de acuerdo con su capacidad, materia prima y diseño en general. Existen pequeños hornos de crisol los cuales pueden albergar pocos kilogramos de metal; por otra parte, también hay hornos de hogar abierto con capacidad de varias toneladas de material fundido. En este caso, el tipo de horno

que se debe utilizar para el proceso de fundición de aluminio debe cumplir con los siguientes factores:

- Los principales aspectos son el ahorro de tiempo y energía, por lo tanto, es fundamental que se dé el proceso de fundición tan rápido como sea posible, así como elevarla a la temperatura de vaciado que se va a requerir.
- En la parte de control de calidad, se tiene la necesidad de garantizar tanto la pureza de la carga del material, como la exactitud de su constitución.
- Se debe producir lo máximo bajo un menor costo de operación.
- Se requiere que exista una correcta interacción entre los componentes principales del horno como lo es la carga, el combustible y los productos de la combustión.
- De acuerdo con ASM committe (1998), los tipos de hornos que se usan en un proceso de fundición son:
 - Hornos de crisol (estacionario y basculante)
 - Horno eléctrico
 - Horno de inducción
 - Horno de arco eléctrico
 - Horno de cubilote

Para definir el uso que se le da a cada uno de ellos, se deben tomar en cuenta aspectos como: “la cantidad de volumen a fundir, tipo de material, capacidad económica, tipo de industria, entre otros”. (ASM committe, 1998)

Definición del horno de crisol

Según el ASM committee (1998), un horno de crisol se puede definir como “una recámara a la cual le es suministrada energía, esta almacena el calor y promueve la transferencia de este a un metal contenido en un recipiente conductor térmico y resistente a la acción del metal y a las altas temperaturas, denominado crisol, el cual va a permitir que la fundición del material en su interior, para ser, posteriormente, vertido en un molde adecuado”.

Este tipo de hornos trabajan por combustión de gas, este va a calentar el crisol con el material en su interior. También existen algunos que se pueden calentar de manera eléctrica: horno de inducción. Un horno de crisol está apoyado sobre una base fabricada en “material refractario y le da la posición necesaria con respecto a la salida del gas”. Por otra parte, el crisol debe estar contenido entre paredes refractarias con el fin de concentrar el calor, además, debe existir una cavidad entre las paredes y el crisol, para que puedan fluir los gases de combustión. (Capello, 1974, p.16)

“El crisol es un depósito o recipiente y su función principal es recibir en su interior el material que se va a fundir. En su mayoría, están hechos de grafito con cierto contenido de arcilla y tienen la capacidad de soportar materiales a altas temperaturas normalmente mayor a 500°C”. (ASM committe, 1998, p. 137)

Cabe destacar que la fundición en crisol es conveniente, ya que es un proceso simple y flexible, y su encendido o apagado, puede ser en cualquier momento. Los dos tipos de hornos de crisol más utilizados son los que Flores y Orellana (2014, p.7) definen como:

- **Horno de crisol estacionario**

Su principal característica es que el crisol puede removerse del horno, con el fin de verter los moldes empleando pinzas y cargadores para levantar o, de igual manera, se puede extraer mediante cucharones para llevar a cabo la colada. Con este tipo de hornos, se evita transferir el material fundido a otro contenedor, esto va a evitar algún tipo de daño del metal en la transferencia.

- **Hornos basculantes**

Este tipo de hornos, son movibles y se apoyan sobre un sistema de sustentación, además, proporciona mayor facilidad a la hora de efectuar la extracción de material y sin necesidad de exponer a los operarios al calor proveniente de la cámara del horno. Sin embargo, esto va a requerir la construcción de una base adecuada que resista el peso del crisol y un sistema que controle el giro del horno.

Materiales Refractarios

Un material refractario tiene la capacidad de resistir altas temperaturas sin descomponerse. Las propiedades más importantes en un material de este tipo son: “composición química, estabilidad dimensional, porosidad, densidad, resistencia a la compresión en frío, cono pirométrico equivalente, refractariedad bajo condiciones de alta temperatura, deformación por fluencia lenta a alta temperatura, estabilidad volumétrica (expansión y contracción) y conductividad térmica”. (Bhatia, 2011, p.22)

Este tipo de materiales debe “conservar su estructura y resistencia a elevadas temperaturas, resistir choques térmicos, ser químicamente inertes, presentar baja conductividad térmica y un bajo coeficiente de dilatación” (Flores & Orellana, 2014, p. 24). En la mayoría de los casos, los refractarios no tienen una temperatura de fusión específica; sin embargo, mediante pruebas se determina un punto en el que el material inicia a reblandecerse. De acuerdo con Flores & Orellana (2014, p.35), el “cono pirométrico equivalente hace referencia a la cuantificación de la transición de fase que ocurre dentro de un intervalo de temperaturas” en el cual se lleva a cabo dicho fenómeno.

Existen diversos tipos de refractarios, entre ellos se encuentran:

- **Prefabricados:** Dentro de estos destacan los ladrillos rectos, ladrillos en forma de arco, cuña y algunos con formas especiales. Este tipo es el más empleado debido a su versatilidad, costo y aplicación.
- **Aislantes refractarios:** Este tipo de materiales reducen en gran cantidad la transferencia de calor mediante las paredes del horno al exterior. De acuerdo con Bhatia (2011, p.26), para propiciar una baja pérdida térmica, se recomienda “colocar capas de material con baja conductividad térmica, ubicada entre la superficie interna caliente y la superficie externa, lo cual va a provocar que esta última se mantenga a una baja temperatura”.

Dentro de estos se encuentran: los ladrillos aislantes, cementos aislantes, fibra cerámica, silicatos de calcio y recubrimientos de calcio. Este tipo de materiales se caracterizan por la cantidad de poros que presentan, estos contienen una gran proporción de aire, por lo tanto, disminuyen la tasa de intercambio de calor.

Presentan como desventaja, que los humos, líquidos y/o gases, pueden penetrar fácilmente, es aconsejable, realizar rutinas de mantenimiento en este tipo de equipos, para evitar el daño del horno completamente o algo mayor, como un incendio.

Fibra cerámica

Las fibras cerámicas se caracterizan principalmente por poseer una combinación entre las propiedades de un material refractario y las de un material aislante convencional, según Flores & Orellana (2014, p.36), algunas propiedades de este tipo de materiales son:

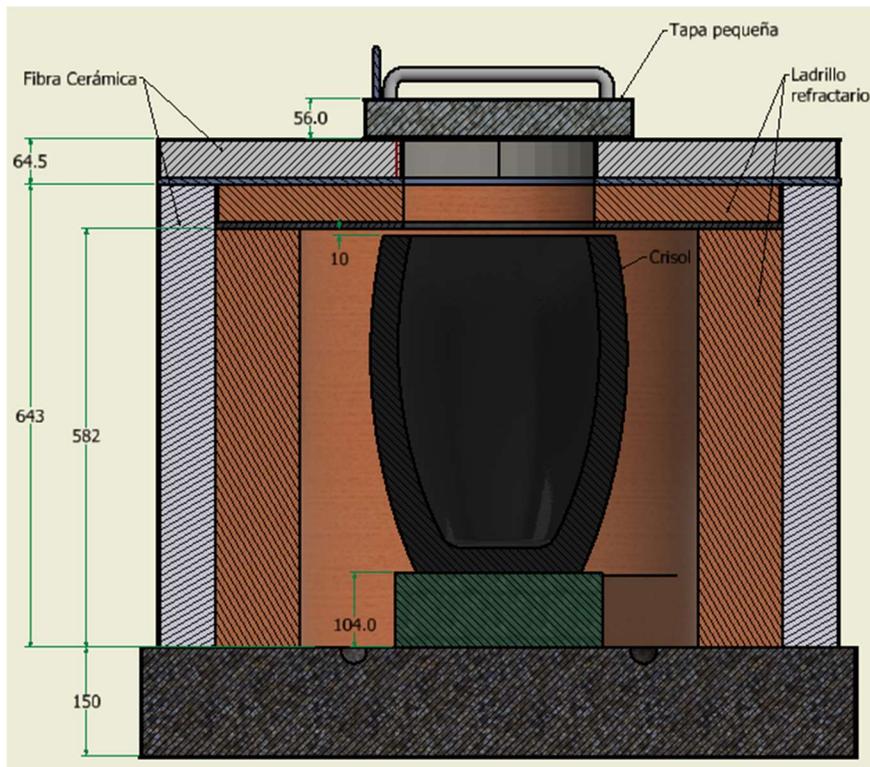
- Baja conductividad térmica. Esto se debe a la baja conductividad térmica, lo que posibilita la construcción de capas de recubrimientos más delgadas con la ventaja de que se va a tener la misma eficiencia energética de los refractarios convencionales. En consecuencia, puede “ser 40% más efectivo que los ladrillos refractarios de mejor calidad y 2,5 veces mejor que el asbesto, además de que el asbesto es dañino para salud. La fibra cerámica es mejor aislante que el silicato de calcio”.
- Liviano. “La densidad promedio de la fibra cerámica es 96 kg/m³”. Esto provoca que la estructura de soporte de los hornos se reduzca hasta en un 40%. Por lo tanto, no se reemplaza la estructura de material refractario (ladrillos), sino que se va a poder reducir su volumen, implementando el uso de un material aislante de este tipo.
- Bajo almacenamiento de calor. Debido a la baja densidad de los recubrimientos de fibra cerámica se absorbe menos calor. Por lo tanto, los hornos pueden perder o ganar calor de una manera más acelerada. Lo cual ayuda a reducir el gasto de combustible, por ende, abaratar los costos.
- Resistentes al choque térmico. La fibra cerámica tiene la capacidad de resistir una variación térmica de manera instantánea, debido a que posee una matriz resiliente. Esto permite ciclos rápidos de intercambio de calor, lo cual mejora la disponibilidad y eficiencia de un horno.

- Resistencia química. La fibra cerámica soporta la mayoría de los ataques químicos y sin ser afectada por los hidrocarburos, agua y vapor, estos factores se presentan en los gases de escape.
- Bajos costos de instalación. La instalación de la fibra cerámica es un proceso realmente sencillo, no se requiere de habilidades o herramientas especiales.
- Fácil mantenimiento. En caso de daño físico, si una porción de la pieza se daña, esta se puede reemplazar.
- Eficiencia térmica. Este material aporta baja conductividad, esto permite que la capa sea más delgada, en comparación con otros tipos de materiales refractarios, y, por lo tanto, ayuda a que el horno posea un volumen de menor cantidad.
- Ahorro de combustible. “Los ahorros pueden llegar hasta un 60% en el caso de algunos hornos de operación intermitente”. (Bhatia, 2011, p.30)

Criterios de selección para refractarios

Es imprescindible, al realizar la selección del material, tomar en cuenta el metal con el que se va a trabajar, las temperaturas que este puede alcanzar, el lapso de fundición, además de cuál es la duración que permanecerá el material dentro de este, los aditivos y agentes aleantes que se van a utilizar, asimismo, la forma en la que se van a recubrir las superficies (Bhatia, 2011, p.32), se deben tomar en cuenta estos aspectos y elegir el mejor material posible, para con esto alargar la vida útil del equipo.

Es recomendado, emplear, para aleaciones no ferrosas, materiales como: magnesita, dolomita o cromita. Si se considera elegir un tipo de material no adecuado para el metal a fundir, este puede reducir su vida útil, además, se debe tomar en cuenta el factor económico, al elegir el tipo de refractario, así como el costo de instalación, mantenimiento, reparación y reemplazo.



Fuente: Elaboración propia, Inventor Professional 2021

Figura 5. Horno de crisol

Sistema de suministro de energía

En un horno, el quemador es uno de los puntos críticos o principales, sin su existencia no se puede llevar a cabo, de ninguna manera, la transferencia de energía y, por ende, no se puede fundir el material requerido.

En el quemador se realiza el proceso de mezcla del combustible, que se inyecta a través de una boquilla, con el aire, el cual proviene del exterior o mediante el uso de un ventilador, posee un principio de funcionamiento relativamente sencillo, además de que se debe cumplir con las exigencias de la norma **NFPA 54**, la cual pertenece al Código Nacional de Gas Combustible. Se hace referencia especialmente a algunos capítulos de la Norma, los cuales son:

Capítulo 5. Diseño de Sistemas de Tuberías de Gas, Materiales y Componentes

5.1 Planeación de la Tubería.

5.1.2 Adición a un Sistema Existente.

5.1.2.1 Cuando se conectan artefactos adicionales a un sistema de tubería de gas, la tubería existente debe ser revisada para determinar si tiene la capacidad adecuada

5.1.2.2 Si es inadecuada, el sistema existente debe ser ampliado según se requiera o se debe instalar una tubería de gas separada, de capacidad adecuada.

5.2 Disposiciones para la ubicación del Punto de Entrega. La ubicación del punto de entrega debe ser aceptable por el prestador del servicio de gas.

5.4 Dimensionamiento del Sistema de Tubería de Gas.

5.4.1 Consideraciones generales. Los sistemas de tubería de gas deben ser de tal dimensión e instalados para proporcionar un suministro de gas suficiente para cubrir la máxima demanda y suministrar gas a la entrada de cada artefacto a una presión de suministro no inferior a la mínima requerida por el artefacto.

También el material de la tubería así como las dimensiones de esta se basan en la norma NFPA 54.

Reacción de combustión

La combustión se define como un proceso en el cual se forma una reacción química de oxidación, por lo general, en la ejecución del proceso es liberada una importante cantidad de energía, en forma de calor y luz, la cual se exterioriza de manera visual como fuego. En este proceso siempre va a existir un componente que arde llamado combustible y otro que produzca la combustión, conocido como comburente.

Llama

Es descrita como la manifestación percibida visualmente durante la reacción de combustión, la llama es producida debido a los gases de combustión. El color y la temperatura de la llama siempre van a depender del tipo de combustible empleado.

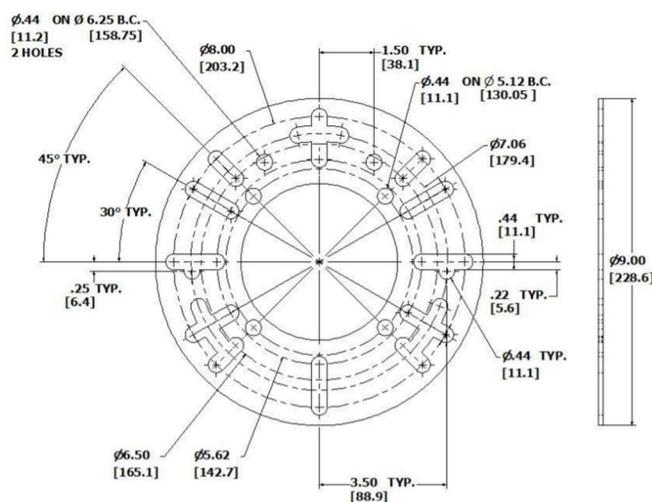
La mayor temperatura de la llama se va a generar en el momento en el que se da la combustión estequiométrica (combustión completa). Al tenerse un exceso o la falta de aire/oxígeno va a reducir la temperatura de esta.

Poder calorífico

Según Flores y Orellana (2014, p.40), el poder calorífico se define como “el número de unidades de calor liberado por la unidad de masa o de volumen del combustible, quemado en un calorímetro en condiciones establecidas previamente.”

Principios de funcionamiento del quemador

Al emplear un quemador de tipo atmosférico no se debe implementar un ventilador que obligue a fluir el aire para dar paso a la mezcla.



Fuente: Manual HSG200-HSG400

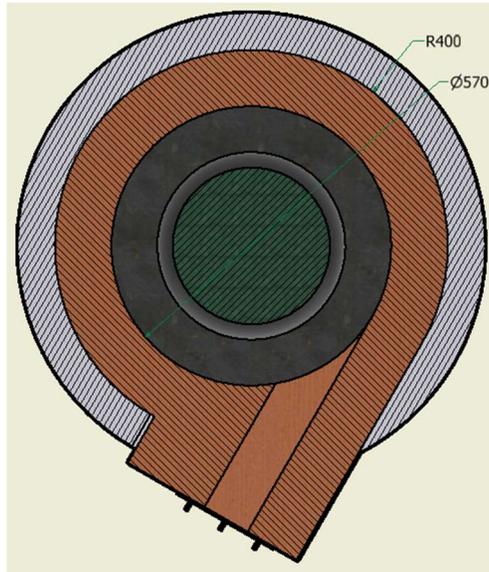
Figura 6. Dimensiones de brida de montaje ajustable

Es importante tomar en cuenta que el quemador de conversión de gas debe ser configurado, para poder entregar la cantidad de calor requerido al equipo. Además, se debe determinar la velocidad de entrada de calor, esto se realiza ubicando la placa de características del equipo, con respecto a la tasa de combustión del quemador de aceite. Es recomendable usar la menor velocidad encontrada para el encendido del quemador.

Instalación del quemador

Para tener un material fundido con alta calidad, la posición del quemador y entrada de la llama en la cámara interna del horno tiene un alto grado de importancia, por lo tanto, según Metalinsumos (2014, párr.3) se deben seguir algunas recomendaciones.

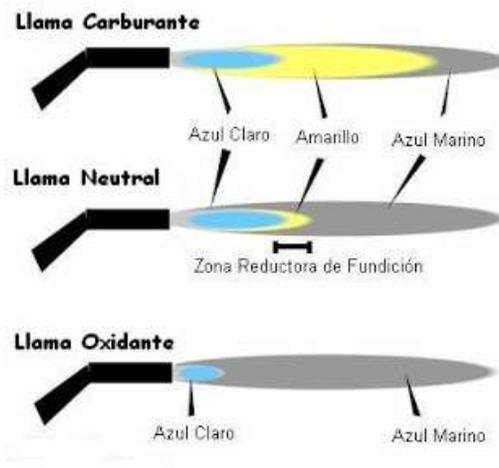
- Se debe hacer una revisión y limpieza semanal de las paredes interiores del horno y realizar reparaciones de ser necesario.
- Retirar cualquier sustancia que se hayan adherido a las paredes internas del horno, esto evitará que si posee material metálico, se funda y cree una especie de tapón que impida la salida y flujo de la llama, lo cual dañará el quemador.
- Asegurarse de que el quemador siempre se encuentre limpio y alineado.
- El crisol debe permanecer centrado, debido a que se requiere una combustión uniforme, y posicionado sobre una base la cual sirva de soporte dentro del horno para que el fondo del crisol se encuentre al mismo nivel o levemente arriba de la línea central del acceso del quemador.
- Al verificarse que el quemador esté correctamente alineado, se debe asegurar que la flama esté centrada y se dirija entre el recipiente fundidor y su base. Es importante tomar en cuenta que la salida del quemador debe quedar centrada en la cámara de combustión del horno y recorrer tangencialmente alrededor del crisol, o sea, crear una espiral alrededor del crisol. En la siguiente figura se muestra una vista seccionada de la parte inferior del horno y la salida de la flama, la cámara de combustión se representa de tono gris oscuro.



Fuente: Elaboración propia, Inventor Professional 2021

Figura 7. Vista seccionada de la base del horno

- Tener la precaución a la hora de configurar la llama del quemador, esta sea oxidante y no se encuentre en contacto directo con el crisol. Además, se recomienda que como parte del mantenimiento que se le da al horno, se rote el crisol, por si existe alguna fisura, al ponerse en contacto con la zona más fuerte de combustión, este suelde y no incurra en un daño mayor.



Fuente: Solda repuestos

Figura 8. Tipos de llama

Conservación del calor dentro del horno

El principal desafío que se posee en el diseño de un horno es reducir el consumo de combustible, esta debe ser equilibrada “con los costos de fabricación y la resistencia térmica de los materiales”. Por lo tanto, mientras se posea “una mayor capacidad para evitar fugas de calor a través de sus recubrimientos”, ya que se puede disminuir el consumo de combustible y aumente la rapidez de calentamiento. (Bhatia, 2011, p.36)

Las pérdidas de calor al exterior se dan por diversos factores:

- Pérdidas en los gases de combustión.
- Pérdida por humedad en el combustible.
- Pérdidas por hidrógeno en el combustible.
- Pérdidas a través de aberturas en el horno.
- Pérdidas a través de las paredes.

Proceso de fundición

El proceso de fundición está dado en diferentes etapas, de acuerdo con Flores y Orellana (2014, p.50):

- El proceso inicia con un moldeo, el cual tiene una forma geométrica que determina la forma de la parte a fundir.
- Luego, se debe calentar el metal a una temperatura en la cual el material pueda quedar totalmente líquido.
- Al verterse el material líquido en los moldes, ocurre la etapa de enfriamiento, donde se puede reducir el tiempo mediante la implementación de un refrigerante.
- Finalmente, cuando el material se ha solidificado completamente, se procede a la etapa de desmoldeo.

Teniendo las condiciones para el diseño del horno de fundición de aluminio, se requiere diseñar el sistema automático, con el cual se pueda tener un monitoreo en tiempo real de la temperatura y algunas otras condiciones de funcionamiento de este, mediante el uso de un Controlador Lógico Programable (PLC). Este va a

cumplir otras funciones, especialmente en la etapa de desmoldeo de los calibradores, y otras como regular la llama del quemador y dar paso al refrigerante en la parte de solidificación de la pieza.

Crisol

Según la etimología de crisol, este es un tipo de recipiente de porcelana refractaria empleada para fundir materias a altas temperaturas, este es ubicado en la parte interior de un horno.

Los crisoles que se pueden conseguir en el mercado poseen una gran variedad de tamaños, este factor depende de la necesidad que se va a tener, o sea de su aplicación y cuánto material se requiere fundir, así como del espacio. Cabe destacar que, para llevar a cabo el diseño del horno, se deben conocer, previamente, las dimensiones del crisol a emplear.

La duración de los crisoles va a depender del tipo de horno, así como del tipo de calentamiento, también de la aleación que se va a fundir y de su temperatura de fusión.

Tabla 1. Formas comunes de crisoles para la fundición de metales

Denominación de forma	Aplicación	Forma
A	Horno de crisol estacionario y de crisol removible.	
B (Blige)	Horno de crisol removible.	
BU (Bale Out)	Horno de crisol estacionario.	
C	Horno de inducción.	

Fuente: (Finck, 2013)

Cabe destacar que ningún crisol va a cumplir con todos los requisitos o características deseables para la aplicación. Por lo tanto, es importante priorizar las propiedades con las que debe cumplir y qué factores lo afectan más para evitar dañar el crisol y/o la fundición y proceso como tal.

Manejo de crisoles

Los crisoles forman parte de los elementos más críticos dentro de los hornos, esto involucra desde su almacenamiento, instalación, carga, limpieza y operación.

En la etapa de operación, debe ser realizada de la mejor manera, debido a que esta es la fuente fundamental para alargar la vida del crisol, además de que se puede asegurar una fusión apropiada del metal.

Algunas de las recomendaciones a seguir para alargar la vida útil de un crisol, toman importancia desde la primera etapa, que es el almacenamiento y transporte, es importante destacar que según Metalinsumos (2014, párr.10), “cualquier daño en la superficie del vitrificado de protección acelera la oxidación, lo que provoca la pérdida de la resistencia mecánica y falla prematura.”

- Se debe inspeccionar todo el sistema de empaçado, asimismo los crisoles antes de su uso, debido a que es incierto si durante el transporte del artículo, ocurrió algún tipo de daño.
- Los crisoles no se deben rodar sobre el piso, se recomienda utilizar las herramientas adecuadas para evitar daños en el elemento o en la persona que lo carga.
- Los crisoles se almacenan en lugares secos, cálidos y bien ventilados.
- No se debe poner un crisol en contacto directo con el concreto, pavimento o tierra. Deben permanecer reposados en una superficie plana. Esto es debido a que los crisoles se caracterizan por ser higroscópicos y son capaces de absorber humedad de la atmósfera, así como de una superficie húmeda.
- En el momento en el que un refractario húmedo se calienta o expone con un metal fundido, existe la posibilidad de que se generen fisuras y/o una exposición o reacción brusca como las de la siguiente figura.



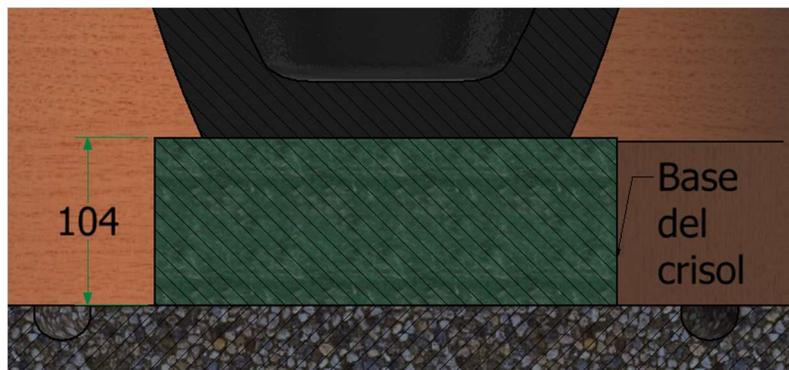
Fuente: (Metalinsumos, 2014)

Figura 9. Fracturas en crisoles ocurridas por el mal uso

Instalación del crisol dentro del horno

Hay recomendaciones que se deben tomar en cuenta a la hora de instalar un crisol y a su vez, protegerlo. En la página de Metalinsumos (2014, párr,15) se basan en que:

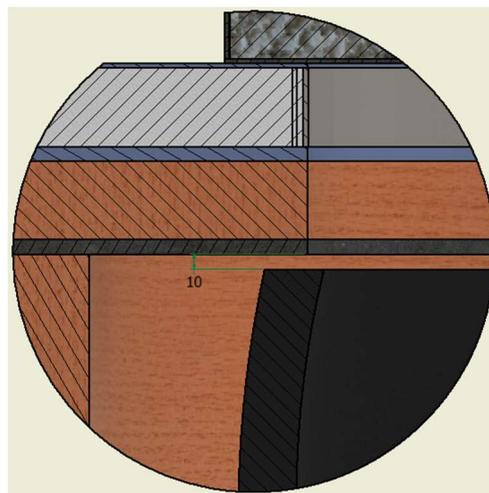
- Se debe utilizar una base de acuerdo con el crisol y de un tamaño ideal. Es prohibido calzar los crisoles, ya que se debe permitir la posible expansión y contracción del crisol.



Fuente: Elaboración propia, Inventor Professional 2021

Figura 10. Base del Crisol

- No poner en contacto el crisol con la tapa del horno es indispensable para evitar esfuerzos por carga.



Fuente: Elaboración propia, Inventor Professional 2021

Figura 11. Distancia entre tapa del horno y el borde superior del crisol

- Mantener la pared interior del crisol en óptimas condiciones y uniforme, para evitar pérdidas en la trayectoria de la llama.

Algunos de los factores que se deben tomar en cuenta para alargar la vida útil de un crisol es efectuar un precalentamiento y curado del crisol. Se debe procurar hacerlo de la forma correcta, debido a que algún daño ocurrido durante este proceso se va a evidenciar durante la operación, no inmediatamente, de acuerdo con Metalinsumos (2014, párr.18):

- Durante el proceso de curado, el refractario de respaldo (mortero y/o ladrillo refractario húmedo), no se debe poner un crisol dentro del horno debido a que se puede oxidar por la variación de temperatura.
- Curado del crisol nuevo: Inicialmente, se calienta el crisol desocupado hasta 200°C durante 40-60 minutos (este tiempo es dependiente del tamaño del crisol); este proceso provoca la pérdida de humedad que pueda existir en el crisol. Luego de ejecutar este proceso, el quemador se debe elevar a plena potencia y llevar el crisol a un rango de temperatura entre 800-900°C en una cantidad de tiempo mínima posible. El fin de realizar este procedimiento es evitar que el vidriado protector, tanto interior como exterior, quede fijado a las paredes del crisol y evitar la oxidación de este debido a las temperaturas máximas (430-600°C). Seguidamente, se deja enfriar, es importante destacar que no es forzado, debido a que se va a trabajar con material frío. Finalmente, se mantiene a temperatura de operación, si se trabaja con material fundido o si se precalienta el material.

Molde

Uno de los factores más importantes al fabricar piezas por fundición y moldeo de metales, es el molde, ya que, de acuerdo con este, se va a determinar la complejidad del acabado final de la pieza. En este caso, se tiene como meta realizar un molde en el cual se contemple el acabado final de cada calibrador de aluminio,

y se requiera un mecanizado final mínimo, con el fin de evitar desperdicio de tiempo y de material, además, debe incluir un sistema de refrigeración eficiente, medición de temperatura en tiempo real, así como un sistema automático de apertura y cierre.

El material de fabricación de los elementos que componen el molde debe soportar altas temperaturas, a su vez ser de fácil maquinado y bajo costo.

Se debe tomar en cuenta, que antes de que ciclo de producción dé inicio, se precalentará el molde, con el fin de evitar un choque térmico, así como cualquier tipo de daño interno en la pieza a fabricar.

Para la refrigeración del molde, se diseñará un canal interno, por el cual fluirá el refrigerante, este será monitoreado por llaves de paso, además el sistema debe incluir un monitoreo en tiempo real, lo cual indique cuándo se deben accionar los pistones, los cuales abrirán o cerrarán el molde. Este proceso se llevará a cabo mediante la intervención de un Controlador Lógico Programable (PLC).

Controlador Lógico Programable (PLC)

Es un tipo de computadora empleada en el área de ingeniería automática o automatización industrial. NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) define que un PLC es el: “Instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos”.

Debido al costo, disponibilidad de la empresa y cantidad de variables que se tienen al llevar a cabo este diseño, se decide emplear un Controlador Lógico Programable LOGO!, el cual presenta ventajas como ser de usabilidad sencilla y contar con conexión tipo Ethernet, lo que lo hace aún más flexible.

Sensores de temperatura

Un sensor agrupa varios elementos, uno que recibe la señal denominado captador y otro que transforma una magnitud en otra, o sea un transductor. “Un sensor posee tres parámetros: el rango, este define los valores entre los que se puede medir, la resolución, que define la variación mínima que puede detectada y la sensibilidad, esta va a variar la magnitud de salida en relación con la variación de la magnitud medida”. (Areny, 2005, p.46)

Los sensores son clasificados mediante algunos criterios:

- Por el tipo de señal que pueden emitir, se tienen analógicos y digitales (o discretos).
- Por la influencia que poseen en el proceso, se definen como sensores pasivos cuando no influyen, a diferencia de cuando absorben energía, son activos.
- Debido a los parámetros que pueden ser variados en el sensor, pueden clasificarse como: mecánicos, eléctricos, electromagnéticos, ópticos, entre otros.

Normalmente, los sensores empleados para la medición de altas temperaturas son llamados termopares o pirómetros. Al realizar la medición de temperatura del metal fundido dentro del horno o la del molde, el sensor más adecuado es un termopar. Debido a que se puede realizar una instalación permanente y estos enviarían la señal al PLC y así se tiene noción de qué está sucediendo en ese momento.

Pistón neumático

De acuerdo con ROME CO Industrial, un pistón neumático es un dispositivo mecánico que, mediante el aire comprimido, produce una fuerza y desplazamiento. Se da una transformación de la energía potencial del aire comprimido en energía cinética, para cumplir con la función que se desea. Estos dispositivos tienen usos principalmente en la industria, procesos productivos y automatización.

Existen varios tipos de cilindros neumáticos, entre ellos destacan los cilindros simple efecto que son los que se mueven en una dirección empleando la fuerza impartida en una de las cámaras del cilindro. Por otra parte, las de cilindro doble

efecto posee dos cámaras, al ser suministrado aire, en una de sus cámaras, el cilindro solo se moverá en una dirección, para que el cilindro regrese a su posición inicial, se deberá suministrar aire en sus dos cámaras. La diferencia entre estos pistones es que el de doble efecto posee dos puertos.

Extracción de vapores

La extracción de vapores es importante para obtener una mejor calidad del material fundido y se controla básicamente por dos sistemas independientes, una chimenea y elementos de ventilación industrial para extraer humos del material fundido.

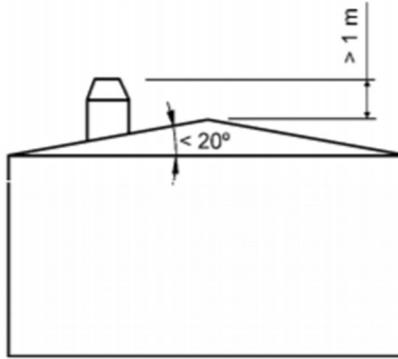
Chimenea

La chimenea cumple su función extrayendo los vapores en la cámara de calor, espacio entre la pared interna del horno y el exterior del crisol. Este elemento es fundamental para eliminar gases resultantes de la combustión, se obtendrá como resultado una mejor calidad de caldo gracias a la baja pérdida por combustión.

Con respecto a la Norma UNE 123.001, el diseño de la chimenea se va a basar en las distancias entre elementos, además de aspectos como temperatura, presión y resistencia al fuego.

Aspectos normativos de acuerdo con distancias entre elementos:

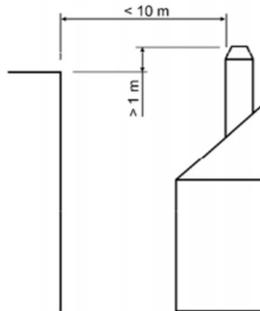
- La chimenea o salida de humos debe tener una altura mínima de un metro respecto a la cumbrera del edificio.



Fuente: Norma UNE 123.001

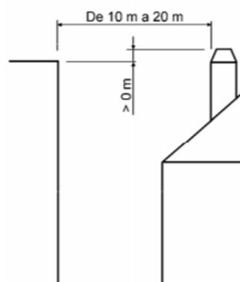
Figura 12. Distancia mínima de la chimenea con respecto a la cumbrera del edificio

- En el caso de tener edificios colindantes, se debe dejar una distancia horizontal de al menos tres metros y un metro de altura o respetar al menos diez metros de radio tomando como centro la salida de humos.



Fuente: Norma UNE 123.001

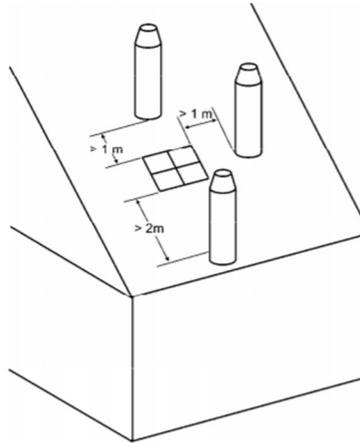
Figura 13. Opción a. Distancia requerida con respecto a edificios colindantes



Fuente: Norma UNE 123.001

Figura 14. Opción b. Distancia requerida con respecto a edificios colindantes

- Finalmente, en caso de el tejado sea plano, “el remate de la chimenea debe situarse a más de 1 m por encima de la cubierta o de la cumbrera del tejado”. También se debe dejar esta distancia en caso de que el tejado esté inclinado y si “hay obstáculos en el mismo tejado o si hay obstáculos exteriores al tejado y también si hay ventanas en el mismo tejado”. (Norma UNE 123.001, 2005)



Fuente: Norma UNE 123.001

Figura 15. Distancia entre otros elementos en el mismo tejado

Normativa aplicada para otros elementos:

- El material seleccionado debe soportar altas temperaturas de humos a la salida de la cámara de combustión, cuando este se encuentre funcionando en su máxima potencia.
- Debe soportar distintas presiones ya este se encuentre solo o existan chimeneas colectivas.
- Se requiere que sea resistente a la corrosión.
- Resistente al fuego.
- Se debe respetar las distancias mínimas a sustancias combustibles.

Ventilación Industrial

“La ventilación se basa en la extracción o inyección de aire del recinto mecánicamente, mediante el uso de un ventilador. De acuerdo con su aplicación este ventilador será extractor o inyector”. (Londoño, 2014, p.15)

Debido a que el material utilizado en este proceso, en su mayoría, es reciclado, posee elementos que no aportan calidad al producto que se requiere fabricar, se debe evitar la aparición de poros en el material, lo cual es tratado químicamente con desgasificadores.

Cuando se da una desgasificación, se introduce un gas inerte en el seno del material líquido, se procede a mezclar, lo que produce un incremento artificial de la presión interna, y finalmente, se precipita el hidrógeno fuera de la solución. Las burbujas producidas por el gas inerte actúan como vacío con respecto a las moléculas de hidrógeno, las atrapa y son liberadas juntas a la atmósfera.

Estos vapores no se pueden liberar en el recinto en el que se encuentra el horno, deben ser extraídos, en este caso, mediante un elemento de captación (campana), un sistema de conducción (conductos), un filtro, para bajar la concentración de elementos químicos, e impulsado con la ayuda de un ventilador extractor, el cual normalmente es centrífugo, para tener ventaja a la hora de vencer altas pérdidas de carga.

Extractores de aire

La función principal de un extractor de aire es liberar el recinto de contaminantes producidos, en este caso se van a extraer humos debidos a la fundición de aluminio. Según S&P (2018, párr.5), “mediante el uso de un extractor se mejora el intercambio continuo del aire interior del lugar donde se trabaja”.

Es importante destacar que para la selección del extractor a emplear, se debe calcular el caudal que se desea extraer, esto con respecto a los estándares ASHRAE. Además, se deben calcular las pérdidas generadas por los accesorios en el sistema de extracción localizada, como las pérdidas longitudinales, ya que el extractor debe contar con la capacidad para vencer estas condiciones.

En este caso, debido a que se requiere vencer las pérdidas, el tipo de extractor que cumple con esta necesidad de manera más efectiva es el ventilador centrífugo, además, se puede emplear un extractor centrífugo con descarga hacia arriba, el cual es ideal en aplicaciones de este tipo, campanas extractoras de humo.

Campana de extracción de vapores

De acuerdo con Jiménez (2014, p.15), las campanas de captación o campana se definen como un elemento en el que ingresa aire al sistema de conductos de ventilación. Por lo tanto, la función de una campana es crear un flujo de aire que sea capaz de capturar eficazmente al contaminante y lo atraiga hasta ella.

La extracción de vapores en un horno de fundición es denominada un proceso caliente, en el cual se libera energía térmica y proporciona el movimiento ascendente del aire, debido a la disminución de su densidad, así que se arrastran los contaminantes químicos o al calor.

Filtración

Tener un buen sistema de ventilación es de vital importancia, ya que con esto, se eliminan olores y contaminantes del ambiente producidos en la fundición de materiales, o algunos otros entornos. Según S&P (2014, párr.1), “los filtros de aire industriales en sistemas de ventilación tienen como principal función limpiar el aire del ambiente”, esto es posible debido a que se disminuye la cantidad de partículas del contaminante que se encuentran en suspensión.

Cabe destacar que, en función del entorno en el que se encuentre, hay que seguir los parámetros de concentración de polvo serían los siguientes:

Tabla 2. Datos para determinar la depuración del aire

Ambiente	Concentración polvo mg/m³
Rural	0,04 a 0,045
Barrio Periférico	0,05 a 1
Ciudad, general	0,5 a 2
Zonal Industrial	0,5 a 5
Calle, ciudad	1 a 3
Fábricas	0,5 a 9
Fabril o de minas con mucho polvo	9 a 900

Fuente: (S&P, 2018)

Con estos datos se puede definir qué elemento emplear, los filtros de aire se utilizan cuando el diámetro de la partícula es menor a 35 mg/m³, de menos es recomendable emplear separadores de polvo.

S&P (2018, p.3), recomiendan que “en caso de separación de virus y partículas de tamaño molecular emplear filtros de carbón activo; los cuales son filtros desodorizantes para el tratamiento de contaminantes de fuerte concentración o tóxicos. Por otra parte, para separar hollín y el humo de tabaco deben utilizarse filtros electrostáticos”; su función principal es atraer y retener los contaminantes como imanes.

Hay que tomar en cuenta que el costo de mantenimiento de la instalación puede verse afectado al emplear un filtro donde el porcentaje de concentración de las partículas en el aire sea elevado y por ende exista un colapso.

Propuesta de Diseño

Diseño de horno de crisol

Los cálculos y diseño de un horno es una de las secciones más importantes, debido a que involucra las dimensiones del elemento, los materiales que se van a requerir y la energía necesaria que se va a suministrar.

Algunas de las consideraciones necesarias que se deben tomar en cuenta a la hora de iniciar el diseño de un elemento, de acuerdo con la organización Crisoles y sus hornos (2012, párr.3), son:

1. Una de las características que mejoran la eficiencia de un horno es la geometría de este, los de forma cilíndrica generan menos pérdidas que los cuadrados.
2. Antes de iniciar el diseño de un horno, se deben conocer las dimensiones del crisol al emplear, ya que las medidas internas del horno dependen de este.
3. La cámara interior del horno debe tener un diámetro en un rango de 150 y 300 mm mayor al diámetro del crisol, se emplea el criterio del diseñador y en este caso va a ser 205 mm mayor.
4. La altura interna del horno contempla la base del crisol, la altura del crisol y el espacio entre la tapa y el borde superior del crisol.
5. La entrada de la llama debe colocarse en la parte inferior del horno y debe ser siempre tangencial a la pared de este.

Parámetros de diseño

Los parámetros fundamentales en la elaboración del diseño del horno son:

- Material por fundir.
- Tipo de crisol y sus dimensiones.
- Máxima temperatura de operación.

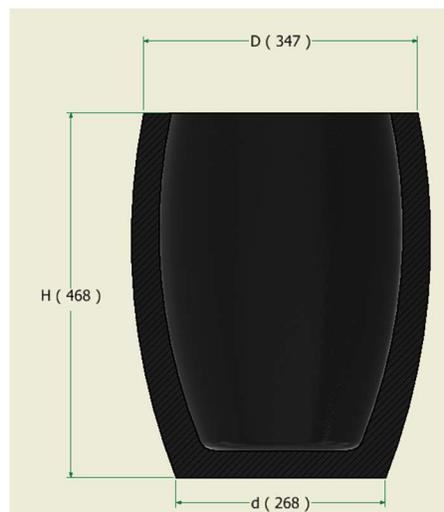
- Duración de la operación.
- Recinto donde se va a ubicar el horno y ventilación.

Tabla 3. Parámetros iniciales para diseñar el horno

Parámetros	Valor	
Carga a Fundir	Volumen (cm³)	Masa, (kg)
Aluminio	28899	59
Crisol		
Tipo de Material	Carburo de silicio aglomerado con alquitrán	
Dimensiones	H: 468 mm x D: 347 mm x d:268	
Temperatura Máxima de Operación	800°C	
Tiempo de Funcionamiento Máximo	10 h	
Ubicación Prevista	Recinto Abierto	
Flujo de Aire en el Recinto	Aire Intermedio	

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Office Excel 2016

El crisol está dado por las dimensiones que se muestran en la siguiente imagen, y fue seleccionado de acuerdo con la cantidad requerida de material para fundir.



Fuente: Fuente: Elaboración propia, Inventor Professional 2021

Figura 16. Dimensiones del crisol (cotas en mm)

La temperatura, en este caso, va a ser la máxima con el límite superior de fusión del material, en este caso, el aluminio se funde en un rango de 600 a 800°C, entonces se selecciona 800°C.

La jornada laboral en la empresa es de aproximadamente 10 horas, tomando en cuenta descansos, por lo tanto, este va a ser el tiempo de funcionamiento máximo.

Dimensionamiento del horno

Tabla 4. Dimensiones del horno

Diámetro Interior del Horno = D_{int}	
$D_{int} =$	Diámetro Crisol + Espacio Libre Sugerido
$D_{int} =$	570 mm
Altura Interior del Horno = H_{int}	
$H_{int} =$	H Crisol + H Pedestal + Espacio Libre Sugerido
$H_{int} =$	582 mm

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Office Excel 2016

Donde:

Diámetro del crisol = 347 mm

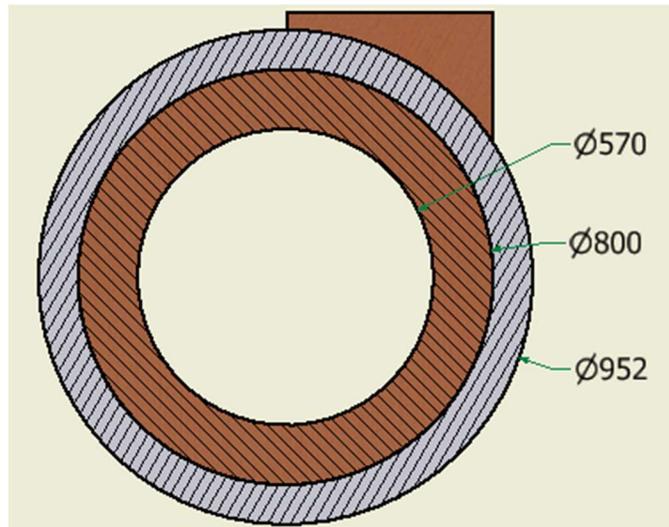
Espacio libre (entre el crisol y el interior del horno) = 223 mm

Altura del crisol = 468 mm

Altura del pedestal = 104 mm

Espacio libre (entre superior del crisol y tapa) = 10 mm

Además, se requiere evitar la transferencia de calor, para lo cual se diseñan una pared de ladrillos refractarios de 115 mm de espesor y otra con fibra cerámica como aislante refractario de 76 mm de espesor, según se muestra en la siguiente figura.



Fuente: Fuente: Elaboración propia, Inventor Professional 2021

Figura 17. Diámetro interior y exterior del horno (cotas en mm)

Para la carcasa que está expuesta al exterior, se selecciona un espesor de lámina de Acero AISI 1020 de 3,17 mm (1/8 pulgada).

Para las placas expuestas al calor, las de la tapa, se selecciona un espesor de lámina de Acero AISI 1020 de 9,53 mm (3/8 pulgada).

Demanda energética

Cálculo de la energía que se requiere para llevar a cabo la fusión del Aluminio

En primera instancia se deben conocer las propiedades del material con el que se está trabajando. Con base en Ramírez (2009), se obtiene la información suministrada en esta sección.

Tabla 5. Propiedades del Aluminio

Parámetros del Aluminio	Valor	
Densidad	2,7	g /cm ³
Punto Fusión	660,2	°C
Calor Específico Fusión	900,0	J/kg °C
Entalpía de Fusión	10,79	kJ/ mol
Masa Molar	37,04	Mol /kg
Calor Específico Colada	1089,0	J/kg °C
Punto Colada	750,0	°C
Tiempo Fundición	4500,0	s

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Office Excel 2016

También se deben conocer los parámetros de conductividad térmica de los materiales con los cuales se va a realizar el diseño del horno.

Tabla 6. Parámetros de los materiales para el diseño del horno

K Ladrillo	1,1	W/(m °C)
K Fibra Ceámica	0,3	W/(m °C)
K Carcasa	54,0	W/(m °C)

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Office Excel 2016

Los parámetros del entorno donde se va a ubicar el horno son los siguientes:

Tabla 7. Parámetros del aire

T_f = Temperatura Final	133	°C
T_s = Temperatura exterior	160	°C
T_? = Temperatura ambiente	27	°C
K₁₃₃ = Conducción Térmica	0,0337	W/(m °C)
Pr₁₃₃ = Número de Prandtl	0,6967	
V₁₃₃ = Viscosidad Cinematica	2,674x10 ⁻⁵	m ² /s
?₁₃₃ = Coeficiente de Expansión	0,0025	1/K

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Office Excel 2016

Para llevar a cabo el cálculo del calor requerido para la fundición del material se van a utilizar las fórmulas de transferencia de calor encontradas en Cengel (2011).

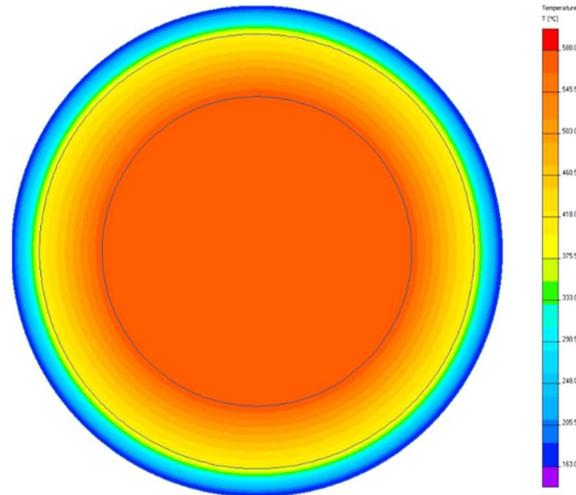
Tabla 8. Calor requerido para fundir Aluminio

Calor Requerido para punto Fusión		
$Q_{AL1} = m C_{p-AIS} T$		
Q _{AL1} =	33349,18	kJ
Calor Latente de Fusión		
$Q_{AL2} = \text{masa (kg)} \times \text{Entalpia Fusión (kJ/mol)} \times \text{Masa Molar (mol/kg)}$		
Q _{AL2} =	23386,19	kJ
Calor Requerido para Temperatura de Colada		
$Q_{AL3} = m C_{p-AIL} T$		
Q _{AL3} =	5722,77	kJ
Calor Requerido para Fundir Aluminio	62459,00	kJ

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Office Excel 2016

Cálculo de pérdidas energéticas

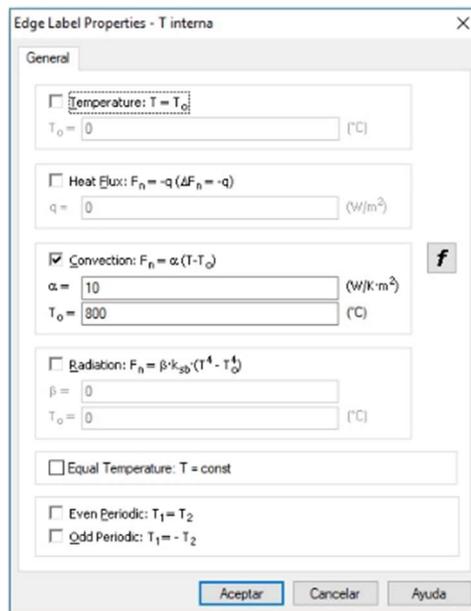
Mediante un estudio térmico, se simuló las temperaturas que van a estar presentes en el horno durante su operación.



Fuente: Elaboración propia, QuickField.

Figura 18. Estudio térmico del horno

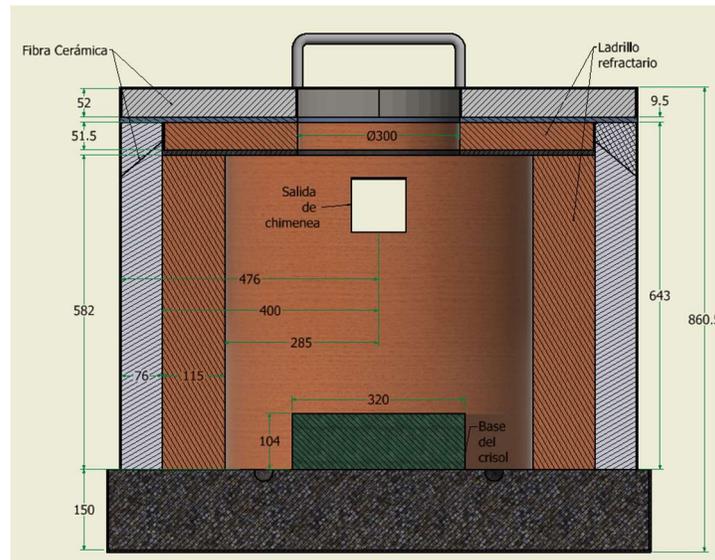
Con este diagrama térmico, se pueden predecir las variaciones de temperatura con respecto a las paredes diseñadas con diferentes materiales para disminuir la transferencia de calor al exterior.



Fuente: Elaboración propia, QuickField.

Figura 19. Propiedades de temperatura interna iniciales para hacer el estudio

Tomando como temperatura interna 800°C y una temperatura externa deseable de 160°C, se procede a realizar el cálculo de pérdida energética por conducción, convección y radiación. Las fórmulas para cálculos son tomadas de Cengel (2011).



Fuente: Fuente: Elaboración propia, Inventor Professional 2021

Figura 20. Dimensiones del horno de crisol

Las dimensiones del horno de crisol son requeridas para realizar el correcto cálculo de las pérdidas que se vayan a tener, para que a la hora de seleccionar la fuente de energía, en este caso un quemador, este supla eficientemente el elemento.

En un horno de crisol, se van a tener por conducción en zonas como las paredes, en la tapa y en la base del horno, También existen pérdidas por convección que “se producen en las superficies expuestas al aire frío del ambiente circundante”. Finalmente, las pérdidas debidas a la radiación “se producen en toda superficie con alta emisividad, siendo considerable a altas temperaturas”. (Cengel, 2011)

Paredes

Las pérdidas por conducción, convección y radiación se determinan con:

$$Q_{cond} = -k A \frac{\Delta T}{\Delta R} \quad (1)$$

$$Q_{conv} = \frac{\Delta T}{R_{conv}} \quad (2)$$

$$Q_{rad} = \varepsilon A_s \delta (T_s^4 - T_\infty^4) \quad (3)$$

Se muestra la tabla resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 9. Pérdidas por conducción en paredes

Q_{cond} = 2 L T/R		
R= Resistencia Térmica		
R= ln(Re/Ri) / K		
R Refractario	0,308159424	W m °C
R fibra Cerámica	0,644271508	W m °C
R Carcasa	0,000116347	W m °C
Q_{cond} =	2715	W

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Office Excel 2016

Tabla 10. Pérdidas por convección en paredes

Q_{conv} = ΔT/R_{conv}		
Temperatura final = T _f =T _s -T _∞	133	°C
Número de Grashof		
GrL= g β (T _s -T _∞) L ³ / V ²	1199345184	
Condición de Gebhart para cilindros verticales		
D > 35 L / (GrL ^{1/4})	0,1209	m
0,900 > 0,130 sí cumple		
Número de Rayleigh		
RaL = GrL Pr	835583789,8	
Número de Nusselt		
Nu= (0,825 +((0,387 RaL ^{1/6})/(1+((0,492/ Pr) ^{9/16})) ^{8/27}) ²	115,9195227	
Nu= h L /K		

	$h = Nu K / L$	6,0754	$m^2 \text{ } ^\circ C$
Resistencia por convección			
	$R = 1 / h A_s$	0,075309818	$^\circ C W$
	Qconv =	1766,038002	W

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Office Excel 2016

Tabla 11. Pérdidas por radiación en las paredes

$Q_{rad} = \sum A_s \delta (T_s^4 - T_\infty^4)$		
$\zeta = 0,0,35$		
$\delta = 5,67 \times 10^{-8} W m^2 K^4$		
	Qrad =	1160,094405 W

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Office Excel 2016

Finalmente, se obtiene la transferencia de calor total debido a las paredes del horno de:

$$Q_{pared Total} = 5641 W$$

Tapa

Es importante conocer las dimensiones que posee la tapa, así como que esta posee diferentes materiales en su interior.

- Material: Fibra cerámica.
 Diámetro externo: 952 mm = 0,952 m
 Diámetro interno: 300 mm = 0,3 m
 Espesor: 52 mm = 0,052 m
- Material: Ladrillo refractario
 Diámetro externo: 800 mm = 0,8 m
 Diámetro interno: 300 mm = 0,3 m

Espesor: 51,5 mm = 0,0515 m

Diámetro interno del horno: 570 mm = 0,57 m

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos al realizar los cálculos correspondientes, tomando como temperatura interna del horno 800°C y temperatura externa de 160°C, además se asume una temperatura entre tapas (aislante y refractaria) de 375°C.

$$Q_{\text{cond/conv}} = \Delta T / \sum R \quad (4)$$

Tabla 12. Pérdidas por conducción y convección en tapa aislante

Anillo Traslape = $A_{tc1} = \pi/4 (D^2 - d^2)$	0,18449046	m ²
Resistencia por conducción		
R= Resistencia Térmica = $H_{\text{altura}}/K A_{tc1}$	1,043916269	W °C
Longitud característica de la superficie Caliente		
$L_c = A_{tc}/p$	0,103026316	m
Número de Grashof		
$GrL = g \beta (T_s - T_\infty) L^3 / V^2$	4933507,425	
Número de Rayleigh		
$RaL = GrL Pr$	3437174,62	
Número de Nusselt		
$Nu = 0,54 RaL^{1/4}$	23,25113507	
$Nu = h.L / K$		
$h = Nu K / L$	15,6713	m ² °C
Resistencia por convección		
$R = 1 / h A_{tc1}$	0,345877277	°C W
$Q_{\text{cond/conv}}$	241,6	W

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Office Excel 2016

Para el cálculo de las pérdidas por radiación, se emplea la ecuación 3. Y los resultados se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 13. Pérdidas por radiación en tapa aislante

$\zeta = 0,94$		
$\delta = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^2 \text{ K}^4$		
	Q_{rad} =	266,4820129 W

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Office Excel 2016

Finalmente, se obtiene la transferencia de calor total debido a la tapa aislante del horno de:

$$Q_{\text{tapa aislante}} = 508 \text{ W}$$

De la misma manera, se realizan los cálculos para la sección de la tapa con refractario. Lo cual se resume en las siguientes tablas.

Tabla 14. Pérdidas por conducción y convección en tapa de ladrillo refractario

Anillo Traslape = $A_{tc2} = \pi/4 (D^2 - d^2)$	0,18449046	m ²
Resistencia por conducción		
R= Resistencia Térmica = $H_{\text{altura}}/K A_{tc2}$	0,253770205	W °C
Longitud característica de la superficie Caliente		
$L_c = A_{tc}/p$	0,19575	m
Número de Grashof		
$GrL = g \beta (T_s - T_{\infty}) L^3 / V^2$	33838927,43	
Número de Rayleigh		
$RaL = GrL Pr$	23575580,74	
Número de Nusselt		
$Nu = 0,54 RaL^{1/4}$	37,62784616	
$Nu = h L / K$		
$h = Nu K / L$	16,9074	m ² °C
Resistencia por convección		
$R = 1 / h A_{tc2}$	0,32058861	°C W
	Q_{cond/conv}	374,3 W

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Office Excel 2016

Tabla 15. Pérdidas por radiación en tapa de ladrillo refractario

$\zeta = 0,94$		
$\delta = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^2 \text{ K}^4$		
	Q_{rad} =	266,4820129 W

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Office Excel 2016

Finalmente, se obtiene la transferencia de calor total debido a la tapa de ladrillo refractario del horno de:

$$Q_{\text{tapa aislante}} = 640,33 \text{ W}$$

Utilizando la ecuación 4, se pueden determinar las pérdidas por radiación debido a la abertura en la parte superior del horno.

Tabla 16. Pérdidas por radiación en abertura de la tapa del horno

$\zeta = 0,94$		
$\delta = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^2 \text{ K}^4$		
$F_{i-j} = 0,59$		
$A_j = \pi/4 (D^2)$	0,070686	m ²
	Q_{rad} =	2928,4 W

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Office Excel 2016

Al realizar la sumatoria de todas las pérdidas debidas a los diferentes elementos de las tapas, se obtiene la pérdida total final:

$$Q_{\text{tapas total}} = 4094 \text{ W}$$

Fondo

Por otra parte, en el fondo también se tienen pérdidas por conducción y radiación, éstas se determinan mediante el uso de las fórmulas 4 y 3, respectivamente.

Tabla 17. Pérdidas de calor por conducción en el fondo del horno

$R = H / (K * A_f)$	0,53438956	W °C
$A_f = \pi/4 (D^2)$	0,25517646	m ²
Q_{cond} =	500,6	W

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Office Excel 2016

Tabla 18. Pérdidas de calor por radiación en el fondo del horno

$\xi = 0,94$		
$\delta = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^2 \text{ K}^4$		
Q_{rad} =	367,919586	W

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Office Excel 2016

El total de las pérdidas de calor debidas al fondo del horno es de:

$$Q_{\text{fondo total}} = 968,5 \text{ W}$$

En la siguiente tabla se realiza un resumen de las pérdidas por transferencia de calor de las tres secciones presentes en un horno de crisol para la fundición de aluminio:

Tabla 19. Resumen pérdidas totales por transferencia de calor

Transferencia de calor por sección	Dato
Pérdidas por paredes	5641 W
Pérdidas por tapas	4094 W

Pérdidas en el fondo	968,5 W
Q_{total}	10703 W

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Office Word 2016

Gases de escape

Se elige trabajar con gas propano debido a que presenta muchas ventajas en comparación con otros combustibles como el diésel. Entre ellas destacan que posee un mejor precio y es más accesible, se almacena en un contenedor para garantizar la seguridad, es menos contaminante y en la mayoría de los casos presenta una combustión de tipo completa.

Algunos de sus parámetros se presentan a continuación.

Tabla 20. Parámetros del gas propano

Composición Química	CH ₃ H ₈	
Masa Molar	44	g/mol
Poder Calorífico	46350	kJ/kg
Densidad Relativa 15,56°C (líquido)	505	g/m ³
Densidad Relativa 15,56°C a 1 atm (gas)	1,86	kg/m ³
Cantidad de aire por kg Propano	15,68	kg
Factor Recomendado	10%	
Cantidad de aire por kg Propano (10%)	17,248	kg

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Office Excel 2016

Una de las pérdidas por transferencia que más afectan un horno son las de gases de escape, los cuales dependen de la eficiencia del horno, de acuerdo con la ecuación 5 (Cengel, 2011), se puede determinar a cuánto corresponde la eficiencia del horno.

$$Q_{escape} = \frac{m C_p \Delta T}{PCI} * 100\% \quad (5)$$

Donde:

$m = \text{Masa gases de combustión (aire + combustible)} = 17,25 \text{ kg} + 1 \text{ kg} = 18,25 \text{ kg}$

$C_p = \text{Calor específico aire a temperatura esperada (600 °C)} = 1,115 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$

$\Delta T = \text{Diferencia de Temperaturas} = 600^\circ\text{C} - 27^\circ\text{C} = 573^\circ\text{C}$

$$\therefore Q_{\text{escape}} = 25\%$$

Esto demuestra que la eficiencia del horno va a ser de un 75%, lo cual es un buen valor, debido a que los hornos de crisol suelen tener un “porcentaje de eficiencia entre 7 y 19%”, según el Programa de asistencia técnica de Minnesota. (2009).

Cálculo de la potencia del quemador

En primera instancia, se debe tener el conocimiento de cuánto combustible se le provee al quemador, para conocer cuál es el flujo que este va a suministrar, este tiene que ser capaz de vencer las pérdidas por transferencia de calor y los gases de escape.

$$E_{\text{quemador}} = \frac{Q_{\text{tot}} + Q_{\text{carga}}}{n_{\text{comb}}} \quad (6)$$

Donde:

$Q_{\text{total}} = 10,60 \text{ kJ/s}$

$Q_{\text{carga}} = \text{Calor Req. Fundir Aluminio} / \text{Tiempo} = 62459 \text{ kJ} / 4500 \text{ s} = 14 \text{ kJ/s}$

$\text{Flujo Másico Mínimo Quemador} = m_{\text{min}} = (Q_{\text{tot}} + Q_{\text{carga}}) / (\text{PCI } n_{\text{comb}}) = 7,04 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$

$\text{Flujo Volumétrico gas} = \varnothing_{\text{min}} = m_{\text{min}} / \text{Densidad} = 0,379 \text{ L/s}$

$$\therefore E_{\text{quemador}} = 33 \text{ kW} \left(111385 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} \right)$$

Transporte de gas

Para poder determinar el diámetro de la tubería de transporte de gas, se deben conocer ciertos parámetros:

Masa Gas = 0,000704287 kg/s

Cantidad de aire Cantidad de aire * kg Propano = 17,248 kg

Densidad Aire @ 30° = 1,164 kg / m³

Velocidad mínima entrada a quemador = 36,58 m/s

Con estos datos se puede obtener la siguiente información, además de calcular el diámetro de la tubería.

$m_{\text{aire}} = \text{Cantidad de aire} \times \text{kg Propano} \times \text{Flujo Másico Mínimo}$
 $= 0,012147543 \text{ kg / s}$

$m_{\text{total}} = m_{\text{gas}} + m_{\text{aire}} = 0,01285183 \text{ kg / s}$

$$D_{\text{tuberías}} = \sqrt{\frac{4 m_{\text{total}}}{\pi \rho V}} = 19,60372905 \text{ mm}$$

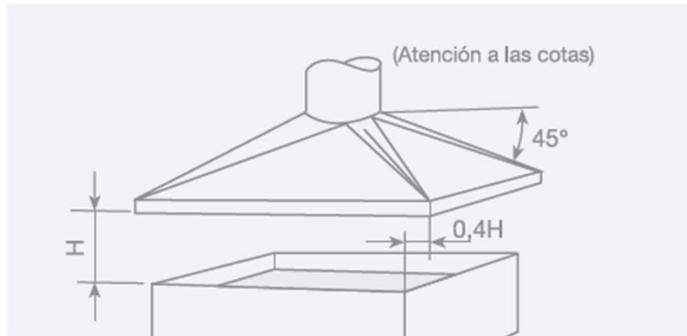
Nota importante: Se debe considerar la densidad del aire al llevarse a cabo el cálculo, debido a que esta es el gas que más aporta fluido.

Además, el dato resultante del diámetro de la tubería es el mínimo, por lo cual, se debe seleccionar una tubería comercial de $\frac{3}{4}$ pulgada a 1 pulgada.

Diseño sistema de extracción de vapores

El diseño de la campana de extracción se basa en las recomendaciones del capítulo 4 Claves y conceptos de ventilación localizada de Soler & Palau.

Se debe cumplir con algunas distancias para tener una recolección de humo eficiente. La campana va a tener una altura H sobre la operación o salida de humos, esta fue definida de una manera en la que no obstruya el acceso al interior del crisol, la altura va a ser de 650 mm (0,65 m).



Fuente: Soler & Palau

Figura 21. Campana elevada

La Longitud de la campana está definida por dos variables que son la altura y la longitud (diámetro) de la superficie de la cual salen los humos, este último es de 300 mm. Se va a calcular de la siguiente manera:

$$L = 2(0,4 * 650) + 300 = 820 \text{ mm} = 0,82 \text{ m}$$

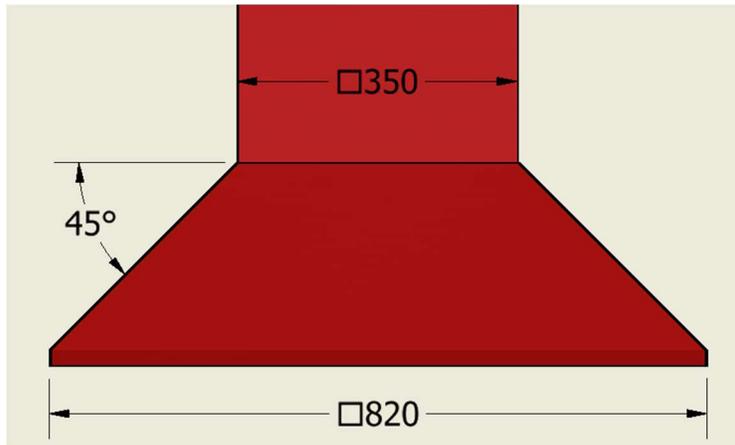
La longitud de la campana va a definir el perímetro de esta. Y al ser un cuadrado, el perímetro será:

$$P = 2,46 \text{ m}$$

De la misma, Soler & Palau recomienda un rango de velocidad para el “transporte de humos de óxido de zinc y de aluminio de 7 a 10 m/s”. En este caso, se realizarán los cálculos para 10 m/s. Se utiliza la siguiente ecuación para determinar el caudal máximo que puede captar la campana:

$$Q = 1,4 P V H = 47433 \text{ CFM}$$

Se requiere que la campana posea un ángulo de 45°, por lo tanto, con base en estas medidas se selecciona el diámetro equivalente del conducto.



Fuente: Fuente: Elaboración propia, Inventor Professional 2021

Figura 22. Campana extracción de humos

Esta campana posee un coeficiente de pérdidas por accesorios de 0,25 in, debido a que es una campana rectangular con ángulo de 90° como se puede observar en el diagrama en el Anexo A.

Al emplear un conducto cuadrado, se utiliza el nomograma adjunto en el Anexo B, para obtener el diámetro equivalente y con este, en el nomograma adjunto en el Anexo C, obtener el caudal necesario para extraer los humos, en este caso, el caudal es $3800 \text{ m}^3/\text{h}$ (2237 CFM).

Por otra parte, se deben calcular las pérdidas longitudinales, se tiene una longitud total de 5377 mm (17,64 pies). Lo cual representa un total de 0,01764 in.

Se utilizará un filtro de alta eficiencia, en el Anexo D se adjunta el modelo, además se elige un extractor de tipo centrífugo, debido a que poseen ventajas al ser más eficientes con respecto a las pérdidas presentes, el modelo es de techo con descarga hacia arriba, se especifica en el Anexo F.

A continuación se muestra una tabla resumen de las pérdidas existentes en el diseño del sistema de extracción de humos.

Tabla 21. Resumen de pérdidas por accesorios o longitudinales en el sistema de extracción de humos

	Cant / Long (mm)	P (in)
Ventilador	1	0,01
Ampliación 1	1	0,24
Campana	1	0,25
Tramo 1	497	0,00163
Tramo 2	4880	0,01601
Filtro	1	0,8
	Total =	1,308

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Office Excel 2016

Diseño de automatización de molde

En el Apéndice B se muestran los diagramas realizados en LOGO! Para llevar a cabo las funciones necesarias.

Entradas y salidas para el encendido/apagado del horno, este va a depender de una perilla que va a operar en dos modos (automático/apagado), además, se cuenta con el monitoreo de temperatura interna del horno en tiempo real, mediante un termopar tipo K, cuando el horno alcance la temperatura deseada de operación, este se va a apagar, a continuación se indican las entradas y salidas.

Tabla 22. Entradas y salidas para la operación del Horno

Entradas		Salidas	
I1	Automático/Apagado	Q1	Quemador del Horno
I2	Temperatura Interna del Horno		

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Office Word 2016

Para la operación del molde, se requiere una perilla que va a operar en dos modos (automático/apagado), luego, se debe monitorear la temperatura del molde, debido a que mediante esta, se va a activar la válvula que da paso al refrigerante, este recorre las placas por 17 segundos, después de que transcurre este tiempo, los pistones se accionan para la apertura del molde y procede a expulsar las piezas, pasan 15 minutos, se vuelven a accionar los pistones para que el molde cierre y se repita el ciclo, hasta que finalice la operación. En la siguiente tabla se muestran las variables existentes durante el proceso de moldeo.

Tabla 23. Entradas y salidas para la operación del molde

Entradas		Salidas	
I3	Automático/Apagar	Q2	Refrigeración Molde
I4	Temperatura Molde	Q3	Apertura Molde
I5	Cierre Molde		

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Office Word 2016

Presupuesto del Proyecto

Tabla 24. Costo total de elementos que forman parte del horno de crisol y el molde para la fabricación de calibradores de aluminio

N°	Elemento	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (\$)	Costo Unitario (₡)	Costo Total (₡)
1	Crisol	1	Unidad	599	344425	344425
2	Base Crisol	1	Unidad	182	104650	104650
3	Ladrillo Refractario #4	30	Unidad	1,62	930	27900
4	Ladrillo Refractario #21	85	Unidad	2,25	1295	110075
5	Fibra Cerámica	2	Unidad	56,09	32250	64500
6	Mortero	2	Unidad	23,20	13340	26680
7	Lámina (1/8 pulgada)	5	Unidad	57,61	33123	165615
8	Lámina (3/8 pulgada)	2	Unidad	159,57	91753	183506
9	Quemador	1	Unidad	1182,5	679937,5	679937,5
10	Lámina (1,5 mm)	5	Unidad	1182,5	17364	86820
11	Lámina (3/16 pulgada)	1	Unidad	1182,5	63998	63998
12	Filtro	1	Unidad	61,37	35287,75	35287,75
13	Extractor	1	Unidad	1413	812475	812475
14	Placas para molde	1	Unidad	1413	112960	112960
15	Pistón Neumático	2	Unidad	131,4	75555	151110
16	LOGO!	1	Unidad	200	115000	115000
17	Tubos	2	Unidad	48,72	28013	56026
18	Otros accesorios	-	-	260,87	150000	150000
					Total =	3290965,25

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Office Word 2016.

Conclusiones

1. Con el proyecto realizado en la Empresa Equipos el Prado en el I Semestre del 2020, se diseñó un horno de fundición de aluminio mediante el uso de normas correspondientes y criterios de ingeniería, obteniendo en el diseño una eficiencia de un 75%.
2. Se automatizó la apertura y cierre de un molde para el desarrollo de calibradores de aluminio, con el fin de reducir los procesos posteriores de mecanizado.
3. Se diseñó un sistema de extracción de gases bajo los estándares de ASHRAE y criterios de ingeniería adecuados al espacio y facilidades.
4. Se realizó la selección del equipo de extracción de humos con base en cálculos del caudal y pérdidas de carga, así como dimensionamiento de campana de extracción y conducto.
5. Se llevaron a cabo los cálculos de la potencia requerida por el quemador, así como el diámetro necesario para la alimentación del combustible.
6. Se efectuó el cálculo del presupuesto inicial para poner en marcha el proyecto, cabe destacar que muchos de los materiales incluidos forman parte del inventario de la empresa.

Recomendaciones

Con respecto al diseño del horno, se recomienda hacer un sistema de recuperación de calor, en caso de expandir la fabricación de calibradores.

Corroborar que el sistema de filtración propuesto sea el más adecuado.

Ejecutar el mantenimiento de tipo preventivo tal y como se muestra en el Apéndice E.

Tener en el inventario de la empresa, elementos indispensables del horno, como lo es el crisol y quemador, para evitar tener que detener la producción en algún momento crítico.

Verificar el funcionamiento de extintores de incendios, para evitar algún accidente mayor.

Capacitar y calificar a operarios de otras áreas, con el fin de que si la persona que está a cargo de la operación se ausenta, no tener que incurrir a detener la producción.

Implementar otras nuevas tecnologías existentes en hornos de fundición, para mejorar y automatizar el proceso, a fin de que se ponga en riesgo la vida de un ser humano.

Referencias Bibliográficas

- Altec - Alta Tecnología de Vanguardia, SA. (s.f.). Electroválvulas. Recuperado el día 04 octubre del 2019, de la página <https://www.altecdust.com/soporte-tecnico/que-son-las-electrovalvulas>
- Areny, R. P. (2005). Sensores y Acondicionadores de Señal 4a. Marcombo.
- ASM committee. (1998). ASM Handbook – Casting (Vol. 15). ASM International
- ASHRAE. (2007). POCKET GUIDE for air conditioning, Heating, Ventilation, Refrigeration (SI Edition)- Edición en Castellano. S.L. España: Editorial El Instalador.
- Bhatia, E. (2011). Overview of Refractory Materials. Recuperado el día 04 de octubre del 2019, de la página http://www.mtec.or.th/images/users/78/FAQ_refractoryMetal/m158content.pdf
- Capello, E. (1974). Tecnología de la Fundición. Barcelona – España: Gustavo Gili S.A.
- Çengel, Y. (2011). Transferencia de calor y masa: fundamentos y aplicaciones. México: McGraw-Hill Educación.
- CODEX STAN 205 (1997) Norma del CODEX para el banano (plátano)
- Crisoles y sus hornos. (2012). Teoría y diseño de fundición de metales. Recuperado el día 19 de junio del 2020, de la página <http://me401metalcasting.files.wordpress.com/2012/07/401-crucible-furnaces.pdf>
- Finck, D., & Heumannskaemper, D. (2013). Hacer coincidir un crisol con su aplicación. Recuperado el día 30 de mayo del de 2020 de la página Morgan Advanced Materials: http://www.morganmms.com/resources/technical-articles/matching-your-crucible-to-your-application/?page_index=1
- Flores, E. & Orellana, R. (2014). Diseño y construcción de un horno de crisol para aleaciones no ferrosas. Universidad de El Salvador
- Jiménez Yáñez, Á. (2014). Análisis y evaluación de una planta de vulcanizados: diseño de un sistema de extracción.
- Londoño, C. A. E. (2014). Ventilación industrial. StarBook Editorial, SA.

Metalinsumos. (2014). Uso y cuidado de crisoles. Recuperado el día 30 de mayo del 2020 de la página <http://www.metalinsumos.com/descarga/art3.pdf>

NEMA – Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos

NFPA 54 (2009) Código Nacional de Gas Combustible

Norma UNE 123.001 Aenor: http://soder.es/upfiles/UNE_123001-2005.pdf

Programa de asistencia técnica de Minnesota. (2009). Energy Efficiency Opportunities for Metal Casters. Recuperado el día 30 de mayo del 2020 de la página <http://www.mntap.umn.edu/metalcast/energy.htm>

Ramirez, J., & Ramirez, W. (2009). Efecto del anodizado sobre la razón de desgaste de una alreación de aluminio 6061. San Salvador: Universidad de El Salvador.

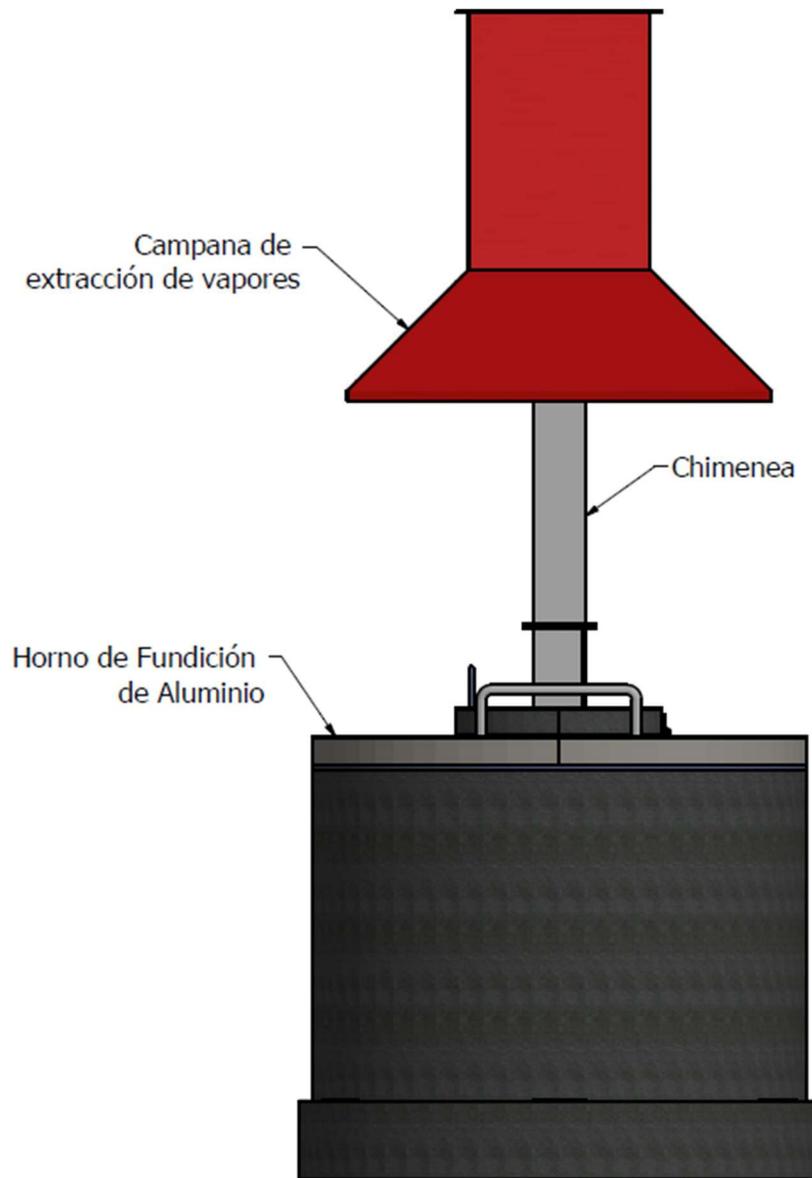
ROME CO Industrial. (2018). Cilindro neumático - Pistón neumático. Recuperado el día 30 de abril de 2020, de la página <https://www.romecoindustrial.com/2018/11/13/cilindro-neumatico-piston-neumatico/>

Solé, A. C. (2012). Neumática e hidráulica. Marcombo.

S&P. (2018). Filtros de aire industriales: tipos de filtros para la depuración del aire. Recuperado el día 30 de mayo del 2020, de la página <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/filtros-aire-industriales/>

Apéndice

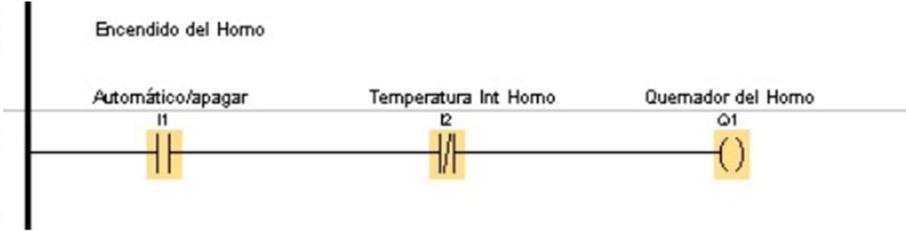
Apéndice A. Diagrama de horno de fundición de aluminio y extracción de vapores



Fuente: Fuente: Elaboración propia, Inventor Professional 2021

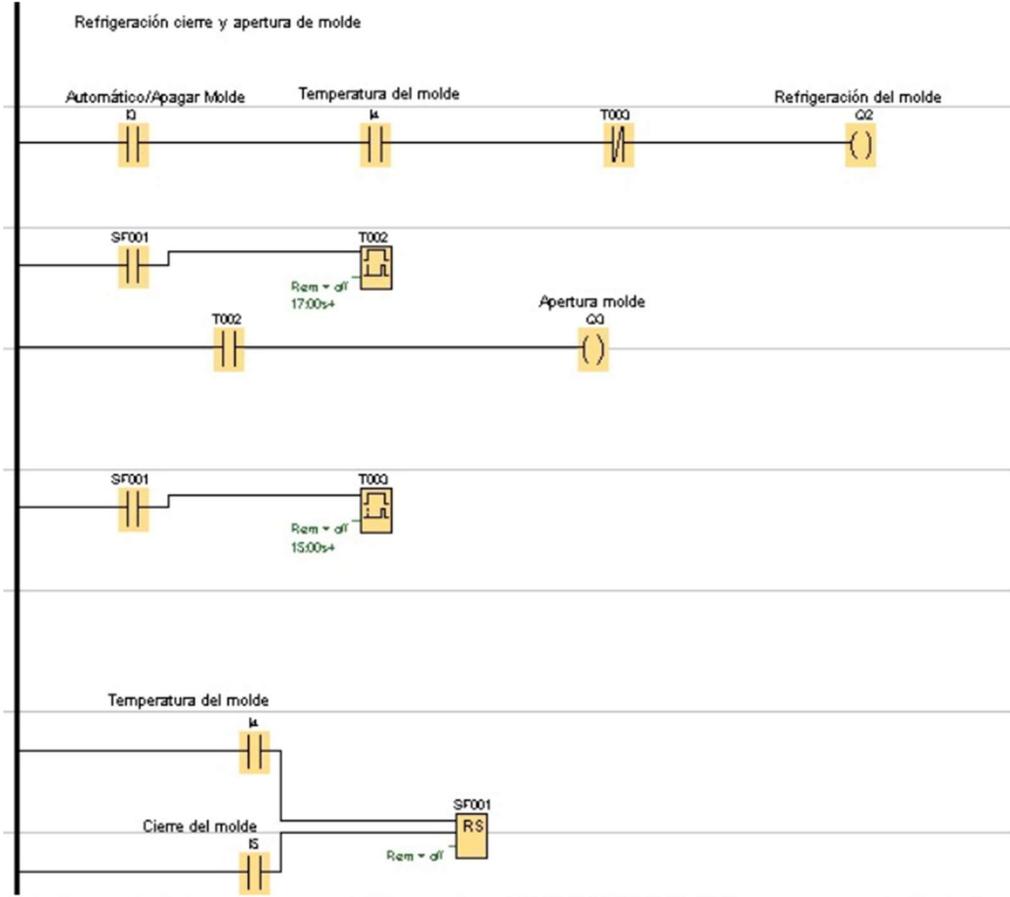
Figura 23. Diagrama de horno de fundición de aluminio y extracción de vapores

Apéndice B. Diagrama programación para encendido y apagado del horno y el cierre y apertura del molde de calibradores



Fuente: Fuente: Elaboración propia, LOGO!

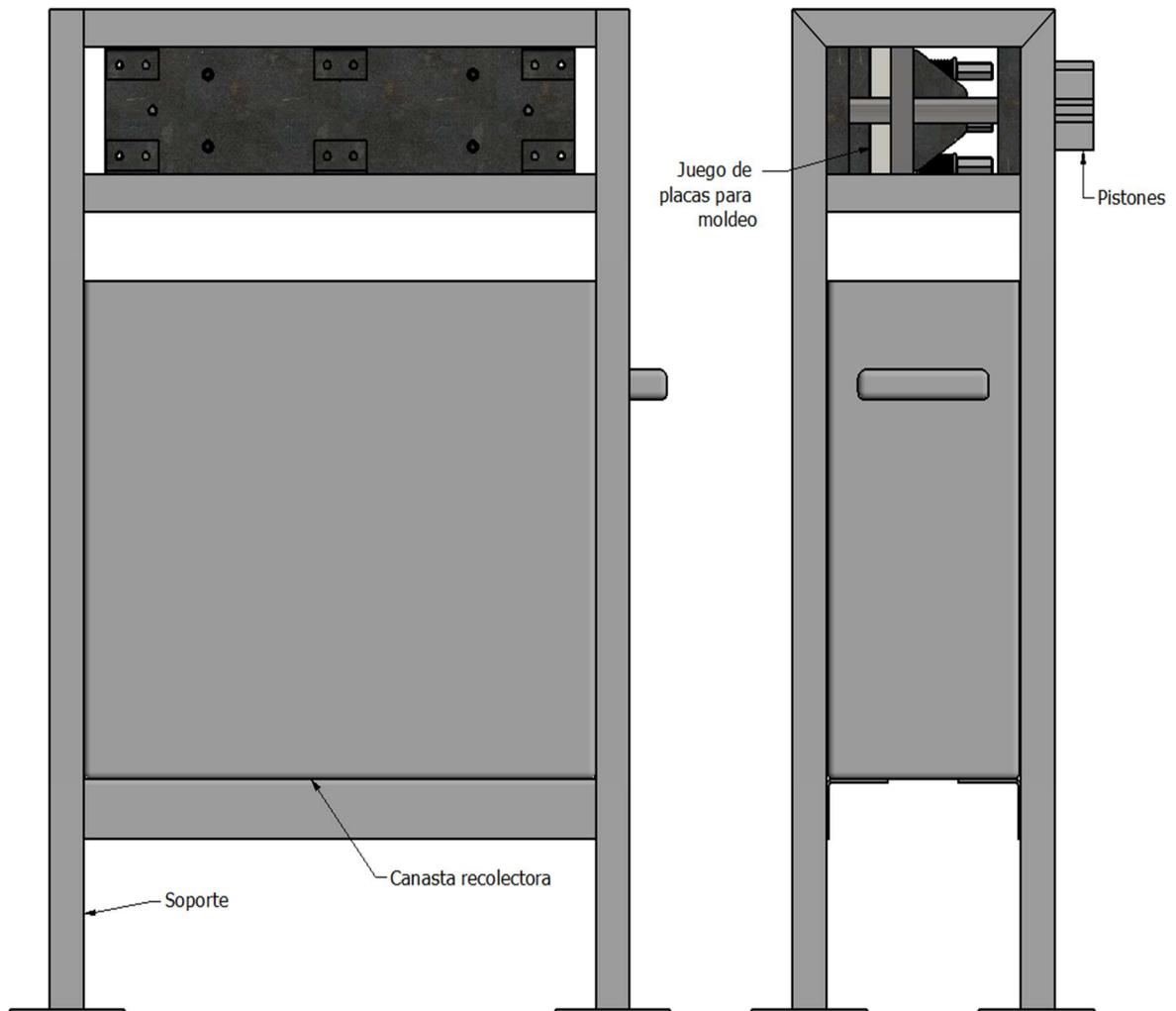
Figura 24. Diagrama de encendido del horno



Fuente: Fuente: Elaboración propia, LOGO!

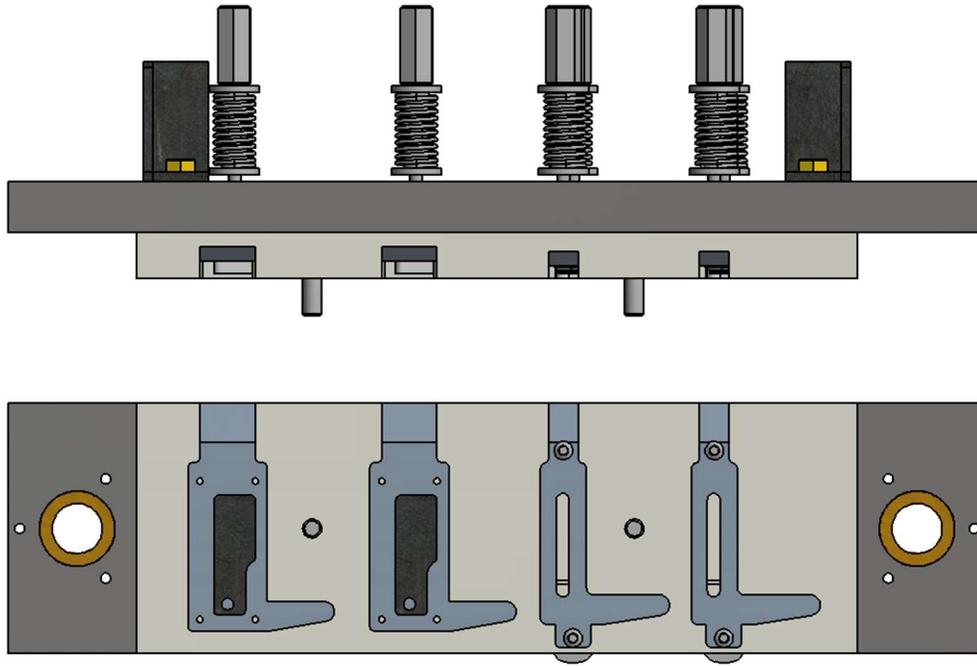
Figura 25. Diagrama de cierre y apertura del molde

Apéndice B. Diagrama de molde para calibradores de aluminio y canal para refrigerante



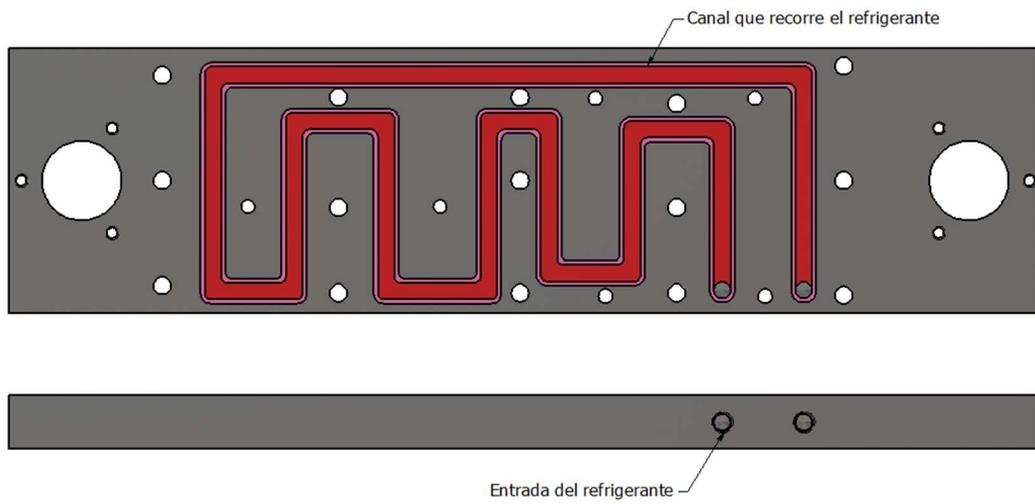
Fuente: Fuente: Elaboración propia, Inventor Profesional 2021

Figura 26. Soporte y molde para calibradores de aluminio



Fuente: Fuente: Elaboración propia, Inventor Professional 2021

Figura 27. Juego de placas del molde



Fuente: Fuente: Elaboración propia, Inventor Professional 2021

Figura 28. Canal que recorre el refrigerante

Apéndice D. Manual de proceso de fundición y moldeo de calibradores

Fabricación de calibradores de banano

Antes de iniciar cualquiera de los siguientes procesos, se debe colocar el equipo de protección: **zapatos de seguridad, guantes, gabacha, delantal y una mascarilla.**



Fuente: Freyer Soluciones Industriales

Figura 29. Equipo de Protección

Lingotes

Para llevar a cabo la fabricación de estos se deben seguir los siguientes pasos:

1. Inicialmente, se debe encender el horno.



Fuente: Elaboración propia

Figura 30. Encendido del horno

Nota: el horno dura alrededor de dos horas (2 h) en alcanzar la temperatura a la cual se funde el aluminio.

2. Cargar el horno con materia prima, se debe pesar, sin exceder su capacidad máxima (55 – 65 kg).
3. Encender el extractor.



Fuente: Elaboración propia

Figura 31. Encendido del Extractor

4. Cuando el aluminio esté fundido (el producto alcanza una temperatura mayor a 600°C), se debe agregar **300 g** de fundente de cobertura, protección, limpieza y modificación de aluminio. Debe ser medido.



Fuente: Elaboración propia

Figura 32. Fundente de cobertura, protección, limpieza y modificación de aluminio

5. Apagar el horno.



Fuente: Elaboración propia

Figura 33. Apagado del horno

6. **Se retira la basura/escoria presente.**



Fuente: Elaboración propia

Figura 34. Escoria

7. Apagar el extractor.



Fuente: Elaboración propia

Figura 35. Apagado del Extractor

8. Llenar los moldes para lingotes con el fluido.



Fuente: Elaboración propia

Figura 36. Molde de Lingotes

Cada lingote pesa aproximadamente 4,5 kg.



Fuente: Elaboración propia

Figura 37. Lingotes

9. Se deja enfriar en el molde.
10. Se procede a desmoldar y almacenar.

Calibradores

Normalmente se realizan 2 o 3 coladas diarias.

Para llevar a cabo la fabricación de los calibradores de banano, tanto dial como fijo, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Inicialmente, se debe **encender** el horno.



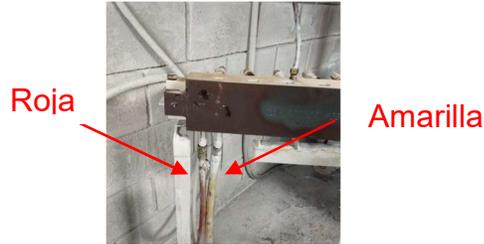
Fuente: Elaboración propia

Figura 38. Encendido del horno

Nota: el horno dura alrededor de dos horas (**2 h**) en alcanzar la temperatura a la cual se funde el aluminio.

2. Se debe seleccionar el molde de las piezas que se van a fabricar, varía de acuerdo con el tamaño o tipo.
3. Calentar el molde, ponerlo encima o lo más cerca posible del horno. Esto **evita humedad** en el molde y problemas en el proceso por el cambio de temperatura drástico.

4. En la base para moldes, se debe sujetar con tornillos.
5. Una vez listo el molde, se colocan las mangueras de salida y entrada del refrigerante (agua). La manguera roja se coloca a la derecha (primer agujero) y la amarilla a la izquierda (segundo agujero).



Fuente: Elaboración propia

Figura 39. Mangueras de refrigerante

6. En caso de usar material preparado anteriormente (lingotes), se debe agregar **30 kg** de este.
7. Se agregan otros **30 kg** de material reciclado de la fabricación de otros calibradores. Si **solo** se emplea material reciclado, usar de **55 a 65 kg**, sin exceder la máxima capacidad del crisol. Es recomendable pesar este material, si no se tiene la experiencia, debido a que puede provocar derrames de material en la cámara del horno, el aluminio tiende a expandirse al ser fundido.



Fuente: Elaboración propia

Figura 40. Material reciclado

8. Se introducen **750 g** de cobre.
9. Dejar fundir el material hasta llegar a una temperatura aproximada de **800°C**. Al alcanzar esta **temperatura**, se debe **apagar el horno**. Esto se demora aproximadamente **30 minutos**.



Fuente: Elaboración propia

Figura 41. Apagado del horno

10. Introducir **300 g** de fundente de cobertura, protección, limpieza y modificación de aluminio. Se divide aproximadamente en 3 porciones, las cuales se pesan y se envuelven en papel aluminio.



Fuente: Elaboración propia

Figura 42. Fundente de cobertura, protección, limpieza y modificación de aluminio

11. Agregar una barra de Boro de **25 cm** por cada **30 kg** de material fundido. En caso de que no exista este material, se puede omitir.



Fuente: Elaboración propia

Figura 43. Barra de Boro

12. **Se retira la basura**, para tener una fundición limpia.



Fuente: Elaboración propia

Figura 44. Escoria

13. Para desgasificar se pueden emplear dos métodos:

10.1. Opción 1: Nitrógeno



Tubo de grafito

Fuente: Elaboración propia

Figura 45. Tanque de Nitrógeno

- 10.1.1. Se debe abrir la válvula a **5 lb** se mide con el manómetro colocado en la parte superior, introducir el tubo de grafito en el interior del aluminio fundido.
- 10.1.2. Este tubo se debe mantener en movimientos **circulares** durante los **dos minutos**.
- 10.1.3. Transcurrido el tiempo, se retira el tubo.
- 10.1.4. La válvula se debe cerrar cuando el tubo de grafito se encuentre afuera del horno, debido a que con esto se evita que el aluminio se solidifique dentro del tubo.
- 10.1.5. **Retirar la escoria presente.**



Fuente: Elaboración propia

Figura 46. Escoria

10.1.6. Finalmente, se tiene el **aluminio listo** para realizar el proceso de moldeo.

10.2. Opción 2: **Pastillas para desgasificar**

10.2.1. La pastilla se debe introducir en una cuchara la cual se va a llevar hasta el fondo del crisol, **despacio** y **poco a poco**, se debe mantener haciendo movimientos circulares hasta que la pastilla se deshaga. El indicador de que la pastilla se deshizo es la desaparición de humo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 47. Cuchara

10.2.2. **Retirar la escoria presente.**



Fuente: Elaboración propia

Figura 48. Escoria

10.2.3. Finalmente, se tiene el aluminio listo para realizar el proceso de moldeo.

Moldeo

1. Verificar que el molde permanezca con una temperatura de **150°C**.
2. Limpiar el molde, se debe usar un cepillo y un taladro para quitar la pintura vieja y otros residuos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 49. Cepillo de acero para taladro

3. Preparación de la pintura, en caso de que no exista pintura hecha previamente.
 - 3.1. En un recipiente, agregar **2 L** de agua.
 - 3.2. Luego, agregar **720 g** de pintura.



Fuente: Elaboración propia

Figura 50. Pintura

- 3.3. Finalmente, agregar **200 g** de talco



Fuente: Elaboración propia

Figura 51. Talco

- 3.4. Mezclar y llenar el recipiente de la pistola.
4. Poner pintura nueva sobre las capas internas del molde. Luego de la primera aplicación de pintura, puede moldear, aproximadamente, 15 o 16 calibradores más, y se debe **repetir** este proceso de pintado del molde. Luego de aplicar esta segunda mano de pintura, se repite el proceso cada media hora durante el moldeo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 52. Aplicación de pintura

5. Iniciar la colada.

Nota: En caso de que el molde exceda su temperatura aproximadamente a **290°C**, el molde se debe **enfriar**.

Apéndice E. Manual mantenimiento del horno de crisol y molde

Es importante señalar que cada equipo electromecánico debe tener su respectivo registro de mantenimiento, en especial, en los hornos de crisol, se deben revisar las paredes internas de este así como el exterior del crisol semanalmente, para evitar daños y por consiguiente mantenimiento de tipo correctivo. Algunos de los aspectos a tomar en cuenta son:

1. Es necesario que los operarios concienticen al respecto de la importancia del mantenimiento preventivo sobre los equipos.
2. Tener fácil acceso a las herramientas y utensilios necesarios para llevar a cabo la revisión del equipo.
3. Estar seguro de que el personal a cargo tiene conocimiento acerca del proceso y tener a mano el manual de operación para evitar accidentes.
4. Asegurarse que al llevar a cabo una rutina de mantenimiento, todos los equipos involucrados se encuentren apagados.
5. Retirar la alimentación de gas y todos los accesorios que pueden causar accidentes o dañarse al accionarse.
6. Facilitar el desmontaje y montaje mediante grúas o plataformas para efectuar de manera más efectiva la inspección, mantenimiento y limpieza del equipo.
7. Proceder a realizar una limpieza en la cámara de combustión.
8. Remover los restos del material fundido, en caso de que haya algún rastro.
9. Ensamblar el horno.
10. Es muy importante tomar en cuenta la revisión de los extintores así como de las terminales eléctricas.
11. Debido a que el producto elaborado tiene una alta demanda en la empresa, todas las semanas se producen al menos cuatro mil calibradores de distinta denominación, por lo tanto, en caso de algún tipo de avería, se debe resolver pronto, esto amerita tener en el inventario repuestos de las piezas que no son tan fáciles de adquirir, para evitar tener que detener la producción por un tiempo prolongado.

Área de trabajo

El recinto en el que lleva a cabo las operaciones de fundición debe tener suficiente espacio además de estar bien ventilado.

Se debe tener al menos a dos o tres personas capacitadas para monitorear de la mejor manera la operación del horno, ya que en caso de que alguno no esté disponible, no se va a detener la producción.

Es importante, para resguardar la integridad de las personas involucradas en el proceso, tener disponible y en un lugar de fácil acceso un botiquín de primeros auxilios.

Incendios

Es indispensable en este tipo de operaciones tener un extintor de incendio el cual cumpla con las siguientes características:

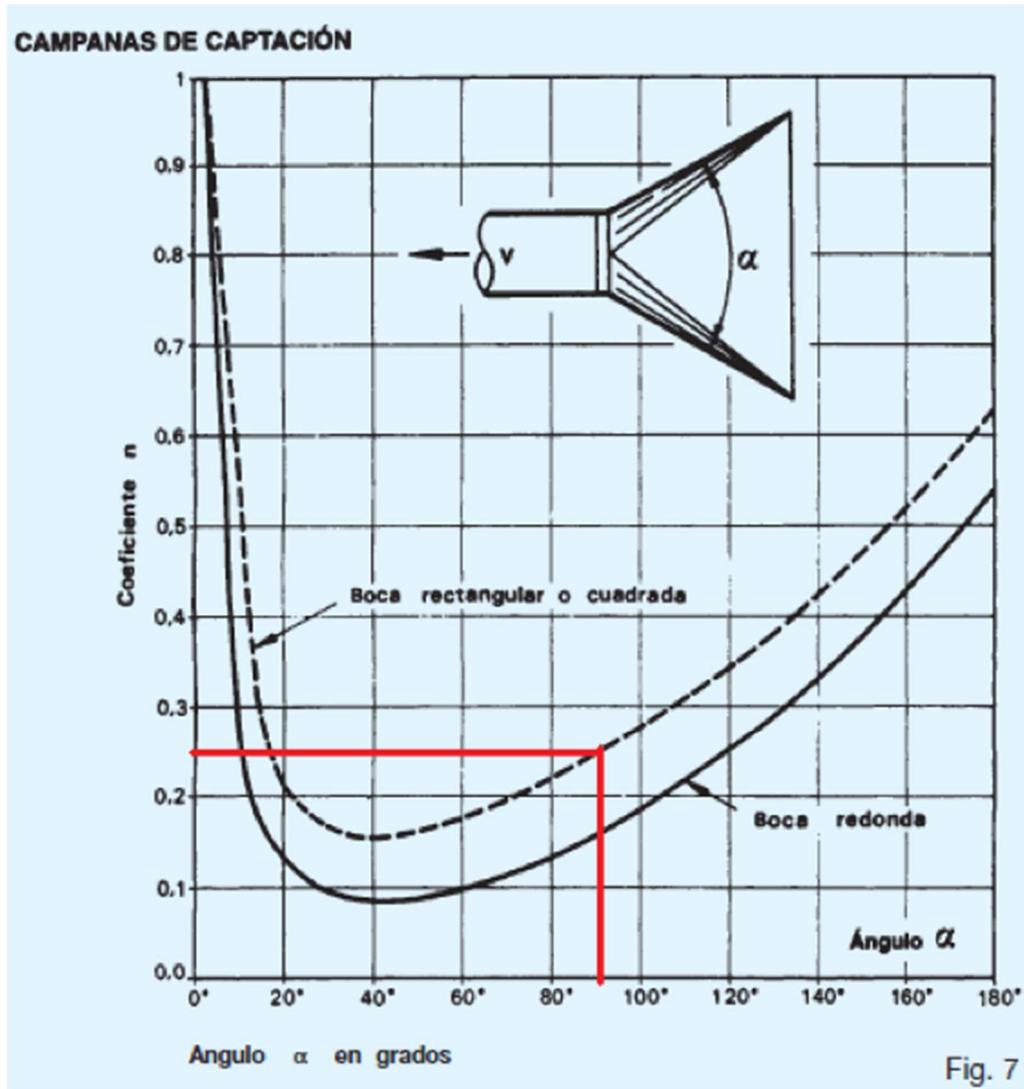
- Del tipo apropiado.
- Cargado.
- Condiciones óptimas para poder ser empleado en cualquier momento.
- Lugar visible.
- Lugar de fácil acceso.

Se debe ubicar en una posición visible los números telefónicos de emergencia (hospitales, bomberos, ambulancia, entre otros).

Finalmente, los operarios deben ser capacitados en caso de que ocurra algún tipo de incendio.

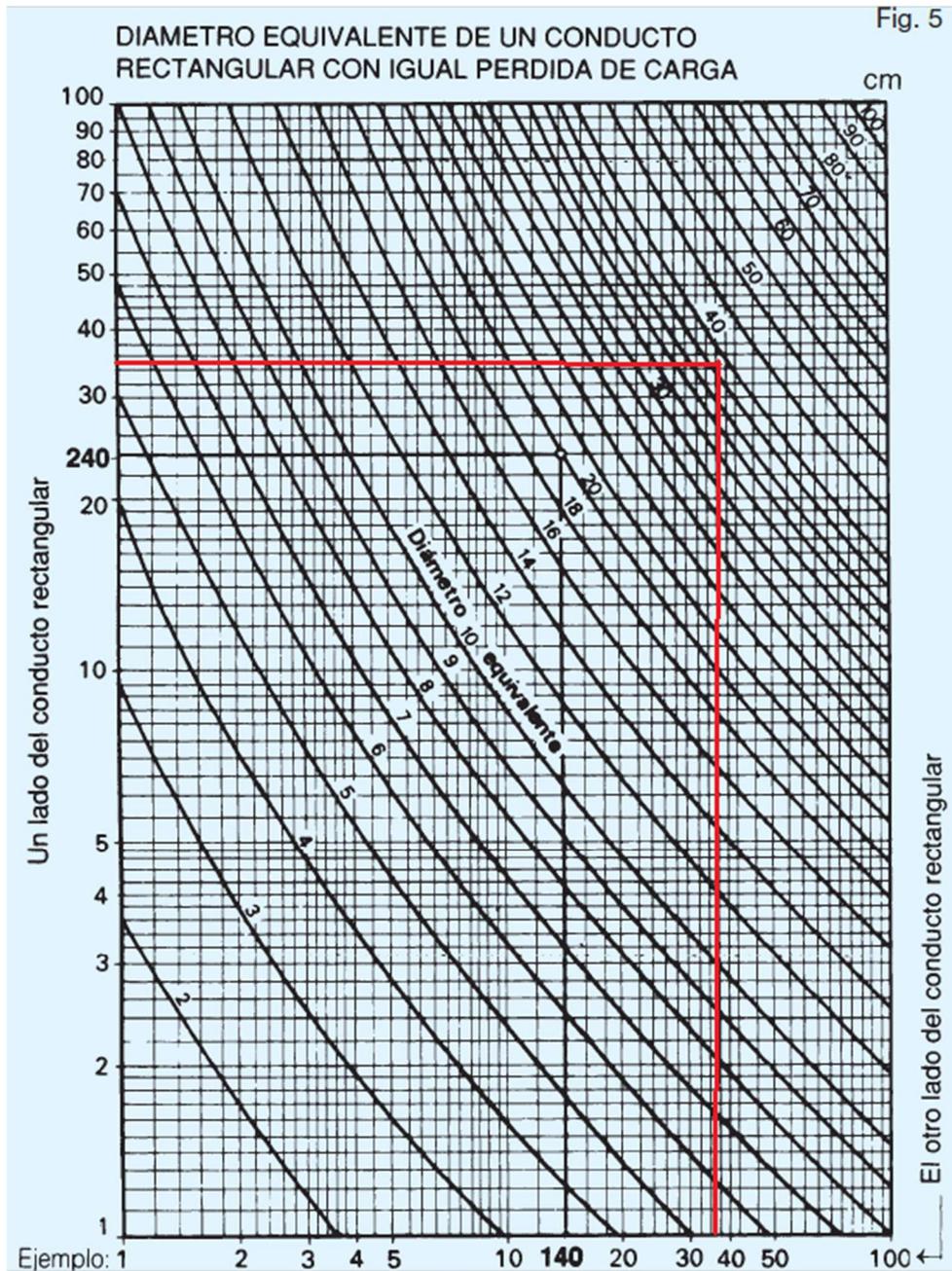
Anexos

Anexo A. Coeficiente de pérdidas de carga para campanas



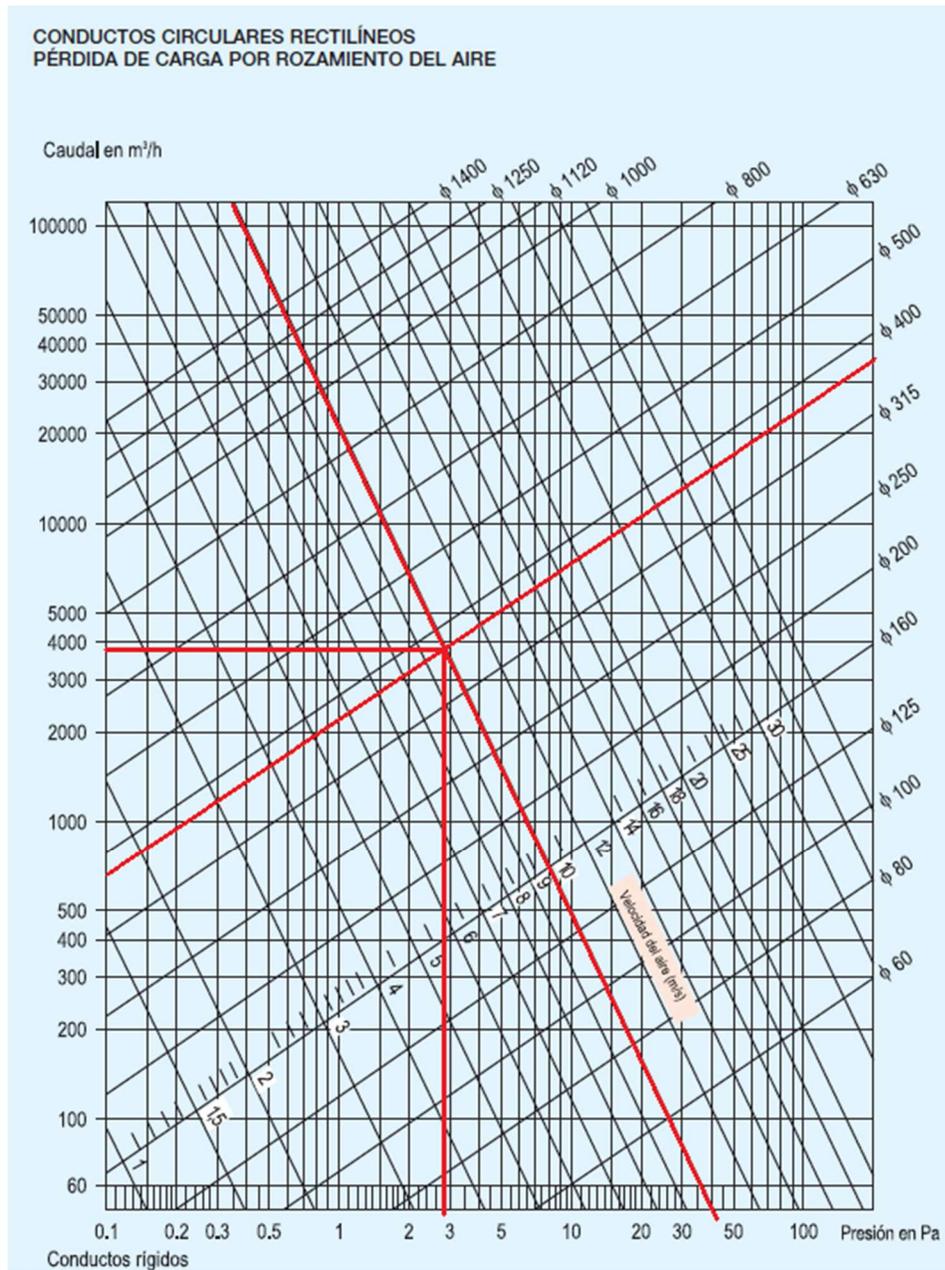
Fuente: (S&P, 2018) y (ASHAE, 2007)

Anexo B. Nomograma para obtener el diámetro equivalente de un ducto cuadrado



Fuente: (S&P, 2018) y (ASHAE, 2007)

Anexo C. Pérdida de carga por rozamiento del aire para conductos circulares



Fuente: (S&P, 2018) y (ASHAE, 2007)

Anexo D. Especificación de filtro de aire

15/7/2020

Reusable Electrostatic Panel Air Filters, 1" Thick, 12 x 12 Trade Size, Merv 6 | McMaster-Carr

McMASTER-CARR.

Reusable Electrostatic Panel Air Filters
1" Thick, 12 x 12 Trade Size, Merv 6

\$81.37 Each
2085K43



Trade Size	12 x 12
Thickness	1"
Filter Efficiency Rating	General Purpose
MERV Filter Rating	6
Filter Efficiency	85%-90%
Removes Particle Size Down To	3 microns
Material	Polypropylene Plastic/Polyester Plastic Blend
Frame Material	Galvanized Steel
Maximum Temperature	180° F
Specifications Met	UL 900
Useful Life	Reusable
Construction	Fibrous
Filter Style	Panel
For Removing	Dust and Particles
For Use With	Air
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2006) (06/25/2020, 209 SVHC) Compliant
Country of Origin	United States

An inherent electrostatic charge attracts dust and particles to these filters. They can be washed and reused.

These filters meet UL 900 flame retardance requirements. Actual size is up to 1/2" less than trade size.

<https://www.mcmaster.com/2085K43/>

1/1

Fuente: McMaster-Carr

Anexo F. Ficha técnica para extractor



Job Name: CUE-161HP-A Cut Sheet
 Tag: MK-1
 Quantity: 1

Model: CUE-161HP-A

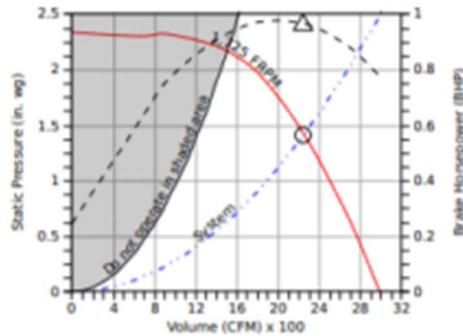
Direct Drive Upblast Centrifugal Roof Exhaust Fan

Standard Construction Features: Aluminum housing. Centrifugal backward inclined aluminum (composite for sizes 60-95) wheel. Direct driven motor mounted on vibration isolation.

Fan Configuration	
Drive type	Direct

Performance	
Requested Volume (CFM)	2,237
Actual Volume (CFM)	2,243
Total External SP (in. wg)	1.41
Fan RPM	1,725
Operating Power (bhp)	0.96
Startup Power (bhp)	0.96
Air Stream Temp (F)	70
Start-up Temp (F)	70
Air Density (lbs/ft ³)	0.065
Elevation (ft)	3773
Static Efficiency (%)	52
Outlet Velocity (ft/min)	1,304

Motor	
Size (hp)	1-1/2
V/C/P	460/60/3
NEC FLA (Amps)	3



— Fan curve	Static Pressure Calculations	
- - - Brake horsepower curve	External SP	1.4 in. wg
○ Operating Point SP	Direct Drive RPM Adjustment	0.01 in. wg
△ Operating Bhp point	Total External SP	1.41 in. wg
— Max system curve		
- - - System curve		

Sound

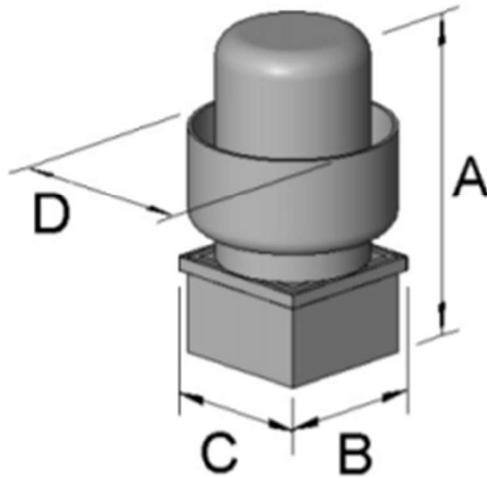
	Octave Bands (hz)								LwA	dBA	Sones
	62.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
Inlet	79	80	84	77	73	72	71	66	81	69	18.4



Greenheck Fan Corporation certifies that the model shown herein is licensed to bear the AMCA Seal. The ratings shown are based on tests and procedures performed in accordance with AMCA Publication 211 and AMCA Publication 311 and comply with the requirements of the AMCA Certified Ratings Program. The AMCA certified ratings seal applies to sound and air performance and FEI ratings only. Performance certified is for installation type A: free inlet, free outlet. Power rating does not include transmission losses. Performance ratings do not include the effects of appurtenances. The sound ratings shown are loudness values in hemispherical sones at 1.5 m (5 ft) in a hemispherical free field calculated per ANSI/AMCA Standard 301. Values shown are for installation type A: free inlet hemispherical sone levels. dBA levels are not licensed by AMCA International. The AMCA Certified Ratings Seal for Sound applies to inlet sone ratings only.

FLA - based on tables 130 or 148 of National Electric Code 2002. Actual motor FLA may vary, for sizing thermal overload, consult factory.

Dimensions and Weights		
Label	Value	Description
-	96	Weight w/o accessories (lbs)
A	42	Overall Height (in)
D	29	Overall Width (in)
B	22	Curb Cap Width (in)
C	22	Curb Cap Length (in)
-	16	Duct / Damper Width (in)
-	16	Duct / Damper Length (in)
-	18.5	Roof Opening Width (in)
-	18.5	Roof Opening Length (in)



*All dimensions are in inches.

Anexo G. Nomograma por pérdidas de carga en ampliaciones de ductos

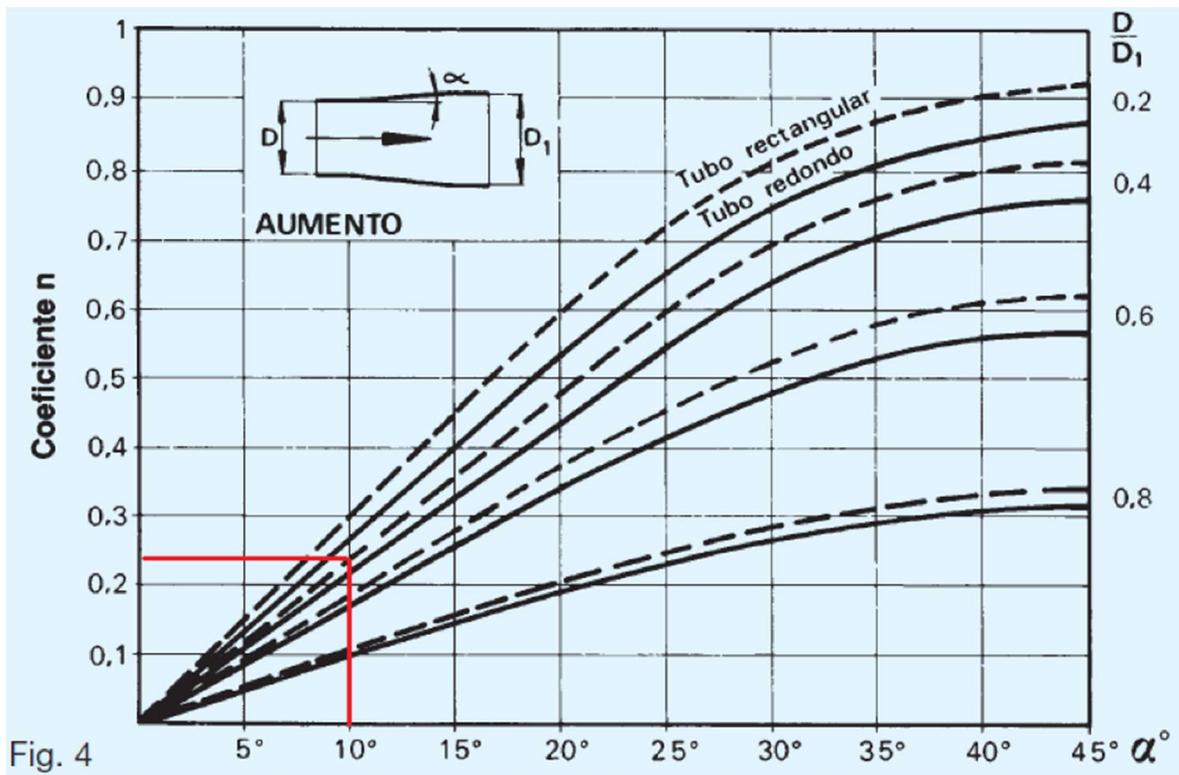


Fig. 4

Fuente: (S&P, 2018) y (ASHAE, 2007)

Anexo H. Cotización de equipo (Crisol y base)

MIFCO (McEnglevan Industrial Furnace Co)

Sales Quote

700 Griggs St, PO Box 31
Danville, IL 61834 USA

Telephone: (217)446-0941
Fax: (217)446-0943

Quote To: Equipos el Prado S.A. San Francisco De Heredia, Calle La Rusia, Del Motel El Dorado 150 Metros Norte, Porton Rojo Heredia, Costa Rica	Ship To: Wen-Parker Logistics 4612 NW 74 Avenue Miami, FL 33166	Quote No: Q10114
		Quote Date: 5/10/2018
		Purchase Order Number:
		Entered By: NH
Quote Description:	Terms: VISA	Req. Ship Date: 5/10/2018

Line #	Qty	UOM	Item No.	Description	Unit Price	Mult.	Tax	Extension
01	1	EA	008270	#100 standard silicon carbide crucible	\$470.00	1.00	N	\$470.00
				<i>- No stock, due in last week of May</i>				
02	2	EA	008272	#150 standard silicon carbide crucible	\$599.00	1.00	N	\$1,198.00
				<i>stock</i>				
03	1	EA	008246	11 x 4 silicon carbide base blk	\$182.00	1.00	N	\$182.00

*estimate only
actual charges will apply*

Subtotal	\$1,850.00
Freight	\$374.34
Taxes	
Quote Total	\$2,224.34
	US Dollars

Comments:

Anexo I. Cotización de equipo (Ladrillos, mortero, fibra cerámica)

LADRILLERA LA URUCA LTDA Cédula Jurídica: 3-102 003732 Pavas, San José, Costa Rica. Teléfono: 2589-0123 Celular: 86 20 8111		Cotización COT 01 FECHA: 06 JULIO 2020
---	--	--

CLIENTE: EQUIPOS EL PRADO
CONTACTO: Emilio Nuñez
CORREO: enunez@elprado.co.cr
ASUNTO: refractario

CONDICIONES DE CREDITO: CONTADO
VALIDO: 8 días
TELEFONO:

DESCRIPCION	CANTIDAD	UND	PRECIO	% DESC	DESC.	TOTAL
ladrillo #4	30	UD	930.00	0.00%	-	27,900.00
cuña #21	85		1,295.00			110,075.00
morteros vulcano 20 kg	2		13,340.00			26,680.00
					SUBTOTA	c 164,655.00
					IVA:	c 21,405.15
					TOTAL	c <u>186,060.15</u>

Cuentas Bancarias:
 BNCR Colones Cta IBAN: CR05 0151 0001 0011 9552 67
 BNCR Colones: 100-01-000-195526 9
 BAC SAN JOSE: Cta. IBAN: CR75 0102 0000 9099 2029 00
 CORRIENTE: 909920290

KATIA DURAN GAMBOA
LADRILLERA LA URUCA
8620-8111

Fuente: Ladrillera la Uruca



REFRACTARIOS LA URUCA, S.A.

Cédula Jurídica: 3-101-091093-05

Pavas, San José,
Costa Rica.

Teléfono: 2232-4200
Fax: 2296-4323

Cotización
COT12366

Fecha: 06/07/2020

Cliente: EQUIPOS NIETO S.A.
Contacto: ND
Correo:
Direccion DETALLE: ND

Condición de Crédito: 0 (CONTADO)
Válido:
Tel. 22226555

DESCRIPCION	CANTIDAD	UND	PRECIO	% DESC	DESCUENTO	TOTAL
STD 1 x 24 x 300 (61cmx 7.62M) (2p x 25p)	2.00	UND	28,500.00	0.00	0.00	57,000.00

Subtotal: 57,000.00

Impuesto Ventas: 13% 7,410.00

Total General: 64,410.00

Monto en Letras: SESENTA Y CUATRO MIL
CUATROCIENTOS DIEZ con 00/100

Observaciones:

Marca y Origen:

Cuentas Bancarias:

BNCR Colones: 100-01-000-132037-3
BNCR Colones Cta IBAN: CR44015100010011320379
BNCR Dólares: 100-02-061-600124-8
BNCR Dólares Cta IBAN: CR64015106110026001246

Atentamente:

NO DEFINIDO
Vendedor

"MATERIALES COTIZADOS EN NUESTRA BODEGA EN PAVAS"

Página 1 de 1

Fuente: Ladrillera la Uruca

Anexo J. Cotización de equipo (Quemador)



3552 N.W. 50TH STREET
 MIAMI FL 33142
 305-633-6535 Fax 305-633-5210

Acknowledgement

ORDER DATE	ORDER NUMBER
04/21/20	81570597
ORDER TO:	FREE NO.
TEMPACO INC - MIAMI 3552 N.W. 50TH STREET MIAMI FL 33142 305-633-6535 Fax 305-633-5210	1

SOLD TO:
 Equipos El Prado Sa
 6703 NW 7th St.
 SJO-24381
 MIAMI, FL 33126

SHIP TO:
 Equipos El Prado Sa
 SEE SHIP ADDRESS BELOW
 MIAMI, FL 33126

CUSTOMER NUMBER	CUSTOMER ORDER NUMBER	RELEASE NUMBER	SALESPERSON	
28597				
BUYER	SHIP VISA	TERMS	SHIP DATE	TERMS ALLOWED
John Corona		N	05/08/20	No
ORDER QT	PART NO	DESCRIPTION	UNIT PRICE	NET
2ea	28326	WYN 62391-002 ELECTRODE ASSY. << ** 2 Tagged to P1078347 ** >>	12.809	25.62
2ea	28323	WYN 62390-002 FLAME SENSOR << ** 2 Tagged to P1078347 ** >>	14.838	29.68
2ea	59365	WYN 62377D HSG400 120V 6" NAT.GAS & LP GAS << ** 2 Tagged to P1078347 ** >> ##### ##### ##### Delivery address: Equipos El Prado SA 1 Aeropost Way SJO-24381 Miami, FL, ZIP CODE 33206-3206 Less cash paid	1100.000	2200.00
				-2365.30
***** ORDER SUMMARY *****				
Total Sales for Order			2365.30	
Payments to Date			-2365.30	
Balance			0.00	

04/22/20 2365.30 Credit Card ENC				
			Subtotal	-110.00
			S&H CHGS	110.00
			Sales Tax	0.00
			Amount Due	0.00

AS OF 1/4/2014 ONLY PRODUCE MARKED "LEAD FREE" CAN BE USED ON POTABLE WATER APPLICATIONS.

Fuente: Tempaco