

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	<u>Documento</u> FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	<u>Código</u> F-AC-DBL-007	<u>Fecha</u> 10-04-2012	<u>Revisión</u> A
	<u>Dependencia</u> DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	<u>Aprobado</u> SUBDIRECTOR ACADEMICO		<u>Pág.</u> 1(80)

RESUMEN - TESIS DE GRADO

AUTORES	FORNARIS VARGAS SEPULVEDA JUAN RODRIGO MORA PEÑARANDA
FACULTAD	DE INGENIERIAS
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA MECANICA
DIRECTOR	GUSTAVO GUERRERO GOMEZ
TÍTULO DE LA TESIS	IMPLEMENTAR UN HORNO DE CRISOL BASCULANTE PARA EL LABORATORIO DE FUNDICIÓN DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

RESUMEN (70 palabras aproximadamente)

EL PRESENTE TRABAJO DE GRADO, TITULADO IMPLEMENTACIÓN DE UN HORNO DE CRISOL BASCULANTE PARA CREAR EL LABORATORIO DE FUNDICIÓN DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA, SE ELABORÓ TENIENDO EN CUENTA LA NECESIDAD DEL MISMO.

PARA ELLO, SE PLANTEARON UNOS OBJETIVOS LOS CUALES FUERON: IDENTIFICAR LOS DIFERENTES TIPOS DE HORNOS PARA LA FUNDICIÓN DE MATERIALES; DISEÑAR Y CALCULAR LOS DIFERENTES ELEMENTOS DEL HORNO DE CRISOL BASCULANTE PARA LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 80	PLANOS:	ILUSTRACIONES: 32	CD-ROM: 1
-------------	---------	-------------------	-----------



VÍA ACOLSURE, SEDE EL ALGODONAL. OCAÑA N. DE S.
Línea Gratuita Nacional 018000 121022 / PBX: 097-5690088
www.ufpso.edu.co



**IMPLEMENTAR UN HORNO DE CRISOL BASCULANTE PARA EL
LABORATORIO DE FUNDICIÓN DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE
PAULA SANTANDER OCAÑA**

**FORNARIS VARGAS SEPULVEDA
JUAN RODRIGO MORA PEÑARANDA**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS
INGENIERIA MECANICA
OCAÑA
2014**

**IMPLEMENTAR UN HORNO DE CRISOL BASCULANTE PARA EL
LABORATORIO DE FUNDICIÓN DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE
PAULA SANTANDER OCAÑA**

**FORNARIS VARGAS SEPULVEDA
JUAN RODRIGO MORA PEÑARANDA**

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
GUSTAVO GUERRERO GOMEZ
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD INGENIERIAS
INGENIERIA MECANICA
OCAÑA
2014**

CONTENIDO

	pág.
<u>INTRODUCCIÓN</u>	13
1. <u>IMPLEMENTAR UN HORNO DE CRISOL BASCULANTE PARA EL LABORATORIO DE FUNDICIÓN DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA.</u>	14
1.1. <u>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u>	14
1.2. <u>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</u>	14
1.3. <u>OBJETIVOS</u>	14
1.3.1. Objetivo general.	14
1.3.2. Objetivos específicos	14
1.4. <u>JUSTIFICACIÓN</u>	14
1.5. <u>ALCANCES Y LIMITACIONES</u>	15
1.5.1 Alcances	15
1.5.2. Limitaciones	15
2. <u>MARCO REFERENCIAL</u>	16
2.1 <u>MARCO HISTÓRICO</u>	16
2.2. <u>MARCO CONCEPTUAL</u>	17
2.2.1. Hornos	17
2.2.2. Crisoles	18
2.2.3. Picos.	18
2.2.4. Bases carburo de silicio.	19
2.2.5. Tamiz.	19
2.2.6. Caja de moldeo.	19
2.2.7. Tubos	20
2.2.8. Trompo.	20
2.2.9. Apisonador	21
2.2.10. Espátula	21
2.2.11. Cucharas y agujas	22
2.3 <u>MARCO TEÓRICO</u>	22
2.3.1. Horno de crisol.	22
2.3.2 Formas de calentamiento de un horno de crisol	23
2.3.3 Medición de temperatura	24
2.3.4 Sensores de temperatura.	25
2.3.5 Medición de la temperatura por el color	25
2.3.6 Punto de fusión de los metales.	26
2.3.7 Condiciones para mejorar la productividad y reducir el consumo de combustible.	26
2.3.8 Condiciones de facilidad de operación	26
2.3.9 Materiales	26
2.3.10 Fundiciones de aleaciones no ferrosas	27

2.3.11 Fundiciones de cobre	27
2.3.12 Fundiciones de aluminio	28
2.4. MARCO LEGAL	28
3. DISEÑO METODOLÓGICO	30
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	30
3.2. POBLACIÓN	30
3.3. MUESTRA	31
3.4. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	31
3.4.1. Observación	31
3.4.2. Encuesta	31
3.5. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	31
4. RESULTADOS	32
4.1 IDENTIFICAR LOS DIFERENTES TIPOS DE HORNOS PARA LA FUNDICIÓN DE MATERIALES	32
4.1.1 Hornos pozo	32
4.1.2 Hornos Bale	32
4.1.3 Hornos Basculantes	32
4.1.4 Horno de crisol inmerso	32
4.1.5 Horno rotativo de crisol	32
4.2 DISEÑAR Y CALCULAR LOS DIFERENTES ELEMENTOS DEL HORNO DE CRISOL BASCULANTE PARA LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA	34
4.2.1 Dimensionamiento de la cámara de combustión4	34
4.2.2 Calculo de cubierta de chapa metálica	36
4.2.3 Diseño térmico. Parámetros a tener en cuenta	37
4.2.4 Diseño de los ejes	43
4.2.5 Combustión	59
4.3 CONSTRUIR EL HORNO DE CRISOL BASCULANTE PARA EL LABORATORIO DE FUNDICIÓN DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA	60
4.3.1 Descripción del proceso de construcción	60
4.3.2 Etapas de montaje	63
5. CONCLUSIONES	66
6. RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFÍA	68
REFERENCIAS DOCUMENTALES ELECTRÓNICAS	69
ANEXOS	70

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Horno de crisol basculante	18
Ilustración 2, Crisoles	18
Ilustración 3. Bases carburo de silicio	19
Ilustración 4. Tamiz	19
Ilustración 5. Caja de moldeo	20
Ilustración 6. Tubos	20
Ilustración 7. Trompo	21
Ilustración 8. Apisonador	21
Ilustración 9. Espátula	22
Ilustración 10. Cucharas y agujas	22
Ilustración 11. Hornos de crisol basculante	23
Ilustración 12. Dimensiones de crisol	34
Ilustración 13. Diámetro del horno	35
Ilustración 14. Cubierta de chapa metálica	36
Ilustración 15. Cilindro chapa metálica	36
Ilustración 16. Pérdida de calor por las paredes	39
Ilustración 17. Diagrama de temperaturas	39
Ilustración 18. Analogía entre flujo de calor y flujo eléctrico	40
Ilustración 19. Diseño de los ejes	43
Ilustración 20. Fuerzas a las que están sometidas los engranes	44
Ilustración 21. Eje 1	45
Ilustración 22. Eje 2 plano XY	46
Ilustración 23. Eje 2. Plano XZ	48
Ilustración 24. Cubierta chapa metálica.	51
Ilustración 25. Cilindro de ladrillos refractario.	52
Ilustración 26. Crisol	53
Ilustración 27. Base crisol	54
Ilustración 28. Base metálica (fondo cubierta)	55
Ilustración 29. Tapa chapa metálica	56
Ilustración 30. Parte de arriba de la tapa	56
Ilustración 31. Parte de los lados de la tapa	57
Ilustración 32. Tapa ladrillo refractario	58

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Principales tipos de combustible que pueden ser usados en la operación de los hornos de crisol. Fuente, diseño y construcción de un horno de crisol basculante, calentado por combustible para la fundición de aluminio. José Fernando Saltos Olalla, Juan José Vargas Carrillo.	24
Tabla 2. Variación del color con la temperatura. Fuente, diseño y construcción de un horno de crisol basculante, calentado por combustible para la fundición de aluminio. José Fernando Saltos Olalla, Juan José Vargas Carrillo.	25
Tabla 3. Intervalos de fusión de determinados metales y sus aleaciones. Fuente, , diseño y construcción de un horno de crisol basculante, calentado por combustible para la fundición de aluminio. José Fernando Saltos Olalla, Juan José Vargas Carrillo.	26
Tabla 4. Energía necesaria para llevar el metal sólido a líquido.	38
Tabla 5. Masas y centros de masa calculados.	59

LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto 1. Construcción del cilindro metálico	61
Foto 2. Construcción de la tapa fija móvil	61
Foto 3. Construcción de la bancada del horno	62
Foto 4. Construcción del quemador	62
Foto 5. Montaje del cilindro en bancada con sistema basculante	63
Foto 6. Montaje de pared refractaria	64
Foto 7. Montaje del crisol	64
Foto 8. Montaje de la tapa fija móvil en el cilindro	65

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Evidencia fotográfica	71
Anexo B. Tabla de Calor.	72
Anexo C. Tabla de apéndices	73
Anexo D. Tabla de densidades	74
Anexo E. Ladrillos refractarios	75
Anexo F. Mínimos y máximos notables	76
Anexo G. Deflexiones y pendientes de vigas	77
Anexo H. Manual	80

RESUMEN

El presente trabajo de grado, titulado implementación de un horno de crisol basculante para crear el laboratorio de fundición de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, se elaboró teniendo en cuenta la necesidad del mismo.

Para ello, se plantearon unos objetivos los cuales fueron: Identificar los diferentes tipos de hornos para la fundición de materiales; diseñar y calcular los diferentes elementos del horno de crisol basculante para la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña; y, construir el horno de crisol basculante para el laboratorio de fundición de la Universidad de Paula Santander Ocaña. Éstos fueron desarrollaron a cabalidad, teniendo en cuenta los tipos de hornos, con el fin de escoger el más adecuado para la Institución, diseñándolo e implementándolo.

La metodología llevada a cabo para la construcción del horno de crisol basculante, fue mediante el método analítico, porque sus partes se diseñan y se construyen bajo especificaciones o parámetros de ingeniería.

Los resultados fueron satisfactorios, ya que el proyecto fue llevado a cabo en su totalidad, obteniéndose finalmente un horno de crisol basculante, para el laboratorio de fundición de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

INTRODUCCIÓN

La importancia del presente proyecto radica en la implementación de un horno de crisol basculante para crear el laboratorio de fundición de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, el cual fue elaborado teniendo en cuenta la necesidad del mismo por la carencia de laboratorios para reforzar los conocimientos aprendidos en las aulas de clases, en especial el de metalurgia.

Para justificar diseño y construcción de un horno de crisol basculante y de desplazamiento, calentado por combustible para la fundición de metales no ferroses que en la cátedra de procesos de manufacturas I de Ingeniería Mecánica es teórico-práctica y sabiendo que en la Universidad Francisco de Paula Santander de Ocaña no existe el antes mencionado horno basculante para reforzar los conocimientos de dicha materia.

Para ello, se plantearon unos objetivos los cuales fueron: Identificar los diferentes tipos de hornos para la fundición de materiales; diseñar y calcular los diferentes elementos del horno de crisol basculante para la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña; y, construir el horno de crisol basculante para el laboratorio de fundición de la Universidad de Paula Santander Ocaña. Éstos fueron desarrollaron a cabalidad, teniendo en cuenta los tipos de hornos, con el fin de escoger el más adecuado para la Institución, diseñándolo e implementándolo.

Los resultados fueron satisfactorios, ya que el proyecto fue llevado a cabo en su totalidad, obteniéndose finalmente un horno de crisol basculante, para el laboratorio de fundición de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

1. IMPLEMENTAR UN HORNO DE CRISOL BASCULANTE PARA EL LABORATORIO DE FUNDICIÓN DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La carrera de Ingeniería Mecánica, forma profesionales calificados para desempeñarse en cualquier campo de su competencia, ya sea en mantenimiento, diseño, construcción y reparación.

El tema del proyecto responde a la necesidad de dar soluciones a los problemas que se presentan en la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña por la carencia de laboratorios para reforzar los conocimientos aprendidos en las aulas de clases, en especial el de metalurgia. Hoy día vemos universidades que dedican asignaturas completas al estudio de la metalurgia incluyendo la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, y cada vez más profesionales de la ingeniería se inclinan por esta rama debido a la alta demanda ya que el procedimiento de la fundición permite obtener fácil y económicamente piezas de diversas formas y tamaños, que se ajusten según las necesidades requeridas.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Será posible el implementar un horno de crisol basculante para el laboratorio de fundición de la UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general. Implementar un horno de crisol basculante para el laboratorio de Fundición de la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

1.3.2. Objetivos específicos. Identificar los diferentes tipos de hornos para la fundición de materiales.

Diseñar y calcular los diferentes elementos del horno de crisol basculante para la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

Construir el horno de crisol basculante para el laboratorio de fundición de la Universidad de Paula Santander Ocaña.

1.4. JUSTIFICACIÓN

La Universidad Francisco de Paula Santander de Ocaña es una institución que se ha destacado por su alto nivel de educación, formando personas altamente participativas, competentes y emprendedoras, convirtiéndose en un promotor de desarrollo de la comunidad. Puesto que la calidad de la educación no solo se basa en los conocimientos teóricos adquiridos en el aula, ya que estos por lo general, no suelen vincular al estudiante

con situaciones reales que le permitan entender dónde y cómo puede aplicar aquellos conocimientos que ha recibido, lo que quiere decir que el estudiante olvide todo aquello que cree haber aprendido de manera más rápida.

Otro punto de vista que justifique la implementación de un horno de crisol basculante para el laboratorio de fundición que en la cátedra de procesos de manufacturas I de Ingeniería Mecánica es teórico práctica y sabiendo que en la Universidad Francisco de Paula Santander de Ocaña no existe el antes mencionado horno basculante para reforzar los conocimientos de dicha materia.

1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES

El tiempo estimado para la realización de este proyecto ha de ser 8 semanas, que estarán bien distribuidas en el transcurso del semestre en curso para poder desarrollar todas las actividades de dicho proyecto.

1.5.1 Alcances. El fin de este proyecto es; implementar un horno de crisol basculante para el laboratorio de fundición, para el laboratorio de procesos de manufacturas I.

1.5.2. Limitaciones. Este horno será diseñado para fundir 19kgs de material en un tiempo estimado de 1hora. Tomando como referencia los parámetros de diseño para economizar costos y afianzar su buen desempeño.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO HISTÓRICO

Alrededor del año 4000 a. de C., en plena edad neolítica, algún anónimo habitante de lo que es hoy el Irán encontró una extraña "piedra roja", que podía moldear a martillazos: un trozo de cobre metálico, como a veces se encuentra en estado puro en la superficie de la tierra. Tendrían que pasar siglos antes de que el hombre aprendiera a extraer el metal de los minerales, a fundirlo y refinarlo, a alearlo con el estaño para lograr ese material duro y relativamente indestructible, el bronce, que reemplazaría a la piedra pulida como materia prima de instrumentos y herramientas.

El uso del cobre, oro y plata primero esporádico y limitado a las regiones ricas en depósitos minerales, se extendió gracias al comercio; ya en el año 2000 a.C. el bronce, producido al comienzo sólo en aquellos lugares en que se encontraban depósitos minerales de cobre y estaño, se fabricaba intensivamente en numerosos centros de producción que empleaban estaño importado desde las lejanas islas Casitéridas o de lo que ahora llamamos el Cercano Oriente. Además de servir para la fabricación de cuchillos, lanzas, leznas, buriles y todo tipo de instrumentos, el bronce podía ser pulido, convirtiéndose así en material para hebillas, alfileres, anillos, pulseras y hasta espejos.

La extracción de los metales dio origen a la nueva ciencia de la metalurgia. Sus comienzos son materia de conjetura, es probable que para adornar su hogar, el hombre neolítico haya buscado las bellas "piedras de colores", azul, verde, rojizo, que contenían, sin que él lo supiese, una alta proporción de mineral cuprífero. Al encender una fogata encima de un piso forrado con trozos de mineral, éste se fundía y dejaba entre las cenizas una sustancia relativamente plástica, que podía moldearse a golpes, sin necesidad de astillarla como la piedra: una forma impura de cobre. Fue así como desde el comienzo el hombre adivinó que necesitaría la ayuda del fuego para extraer los metales de sus minerales.

Deduciendo y atando cabos, los desconocidos inventores del Neolítico comprendieron que era necesario encender el fuego sobre una cavidad en la cual se recogería el metal fundido, y concentrar su calor mediante un hornillo de piedras unidas con barro, para que llegase a la temperatura necesaria para fundir el mineral. Nació así el primer horno metalúrgico; pero pronto quedó en evidencia que la leña, único combustible conocido, producía sólo con mucha dificultad la cantidad requerida de calor. ¿Quién fue el artífice anónimo que descubrió que a menudo la leña semiconsumida dejaba entre las cenizas de un fuego apagado trozos de una materia negra y porosa que ardía produciendo un calor mucho más intenso? Nadie lo sabrá jamás: sólo podemos llamarle "el inventor del carbón de leña".

Soplando sobre el fuego era posible activar las llamas; este principio, conocido desde los albores de la Edad de Piedra, condujo a la creación de numerosos dispositivos de ventilación forzada, diseñados para producir un viento artificial que avivase la combustión. Cañas y primitivos fuelles de membranas animales sirvieron para completar el proceso de extracción mineral. Y durante los milenios siguientes la metalurgia no requeriría de nuevas

innovaciones esenciales: el primitivo horno de piedra se transformó en horno de crisol, y sólo después del Renacimiento creció para tomar la forma del cubilote y del alto horno actual; el carbón de leña se reemplazó sólo alrededor del año 1700, ¡hace menos de tres siglos! por carbón de origen mineral; la introducción de la energía motriz agrandó las instalaciones, aumentó y facilitó la producción de metal.

Pero, hasta hace muy poco, la metalurgia se basaba en los mismos tres principios conocidos en el Neolítico, horno, carbón, ventilación, y en la aleación, que ya conocían los artesanos egipcios y sumerios, hace más de cuatro mil años.

Muy pronto se agotaron los depósitos de minerales situados en la superficie de la tierra, y el hombre debió cavar entre rocas para buscar nuevos yacimientos, aprender a reconocer el mineral buscado, alumbrar los recovecos de sus galerías subterráneas, eliminar de ellas el agua Y sostener artificialmente el frágil techo de sus excavaciones.

Nació, en suma, la compleja técnica de la minería. Intuitivamente, los primeros mineros apuntalaron las paredes de sus corredores subterráneos con sólidos maderos unidos por vigas horizontales o, a veces, curvados hacia el centro para formar una ojiva.

Siguiendo la caprichosa huella de las vetas minerales descubrieron también que era más conveniente extraer el mineral por la vía más corta, o sea, la vertical, en vez de sacarlo, carga por carga, desandando el largo camino de acceso. Se perforaron pozos por los cuales subida el mineral, auxiliado por un tronco horizontal alrededor del cual se envolvía la cuerda de la que colgaba la carga: fue el primer cabrestante.

Para dar forma al metal, surgió el moldeado y la fundición. Esta última técnica, conocida ya por los caldeos, pasó a Egipto y luego se expandió por el Mediterráneo, gracias al gran centro comercial de Micenas, productor de maravillosas figuras de bronce.

Después, los griegos, los etruscos y finalmente los romanos perfeccionarían el proceso, reemplazando por yeso la cera de los moldes en que se daba forma a las diversas partes del objeto, uniéndolas enseguida. Un gran progreso fue el complejo procedimiento de fundición " *a la cera perdida* ", inventado en Samos, en el siglo VII a. de C., al que se deben las grandes obras maestras de la escultura antigua y, más tarde, del Renacimiento.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Hornos. Los hornos son utilizados para fundir o mantener en estado líquido el metal con que se alimenta el molde. Estos se eligen en función de la temperatura de fusión del metal, de la calidad de la pieza y de los costes de su calefacción.

Ilustración 1. Horno de crisol basculante.



Fuente, <http://www.ce-fire.com/Crisoles.html>

2.2.2. Crisoles. Estas piezas se utilizan para fundir metales no ferrosos como el zinc, estaño, bronce y aluminio por citar algunos metales. Están hechos de **Carburo de Silicio** ó **Grafito** para fundir en **hornos eléctricos, a gas y de inducción** ya sea de manera fija o que basculen. Contamos con una gran variedad de tamaños, formas y capacidades que se adecúan a las dimensiones internas del horno.

Ilustración 2. Crisoles.

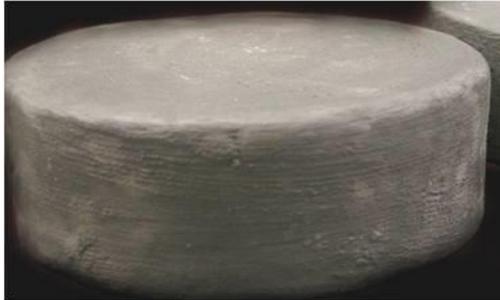


Fuente, <http://translate.google.com.co/translate?hl=es&langpair=en%7Ces&u=http://www.budgetcastingsupply.com/Crucibles.php>

2.2.3. Picos. Picos para diferentes modelos de crisoles para unirse con el canal o ser el canal donde conduce el metal fundido de Aluminio.

2.2.4. Bases carburo de silicio. Son utilizadas para que sobre de ellas se asienten los crisoles, lo que le da más vida a estas piezas. Contamos con diferentes espesores y diámetros de acuerdo a la base del crisol a utilizar.

Ilustración 3. Bases carburo de silicio.



Fuente, <http://www.ce-fire.com/Crisoles.html>

2.2.5. Tamiz. El tamiz permite cernir la arena para garantizar la granulometría de la misma.

Ilustración 4. Tamiz.



Fuente, http://www.escuelaing.edu.co/programas/ing_industrial/laboratorios/PIND/fundicion.pdf

2.2.6. Caja de moldeo. La caja de moldeo conformada por cuatro placas de aluminio ensambladas entre si permiten confinar la arena que se utilizara para generar el molde en arena.

Cuenta con guías que permiten alinear y ensamblar las dos cajas de moldeo y las placas modelos, entre si.

Sus caras pueden desensamblarse para generar varios moldes de arena con la misma caja, sin destruir el molde, una vez enfrentados las mitades del molde entre sí.

Ilustración 5. Caja de moldeo.



Fuente, http://www.escuelaing.edu.co/programas/ing_industrial/laboratorios/PIND/fundicion.pdf

2.2.7. Tubos. Los tubos permiten generar las cavidades en la arena que se convertirán en los bebederos del molde.

Ilustración 6. Tubos.



Fuente, http://www.escuelaing.edu.co/programas/ing_industrial/laboratorios/PIND/fundicion.pdf

2.2.8. Trompo. Para facilitar el proceso de verter el metal fundido en la cavidad de arena, el extremo del bebedero tiene forma cónica. Para lograr esta forma el trompo se presiona en la boca de la cavidad que deja el tubo al salir de la arena.

Ilustración 7. Trompo.



Fuente, http://www.escuelaing.edu.co/programas/ing_industrial/laboratorios/PIND/fundicion.pdf

2.2.9. Apisonador. El apisonador permitirá compactar la arena sobre el modelo y darle contextura a todo el molde en general.

Las formas diversas de sus extremos buscan adaptarse a las diferentes formas de los modelos.

Ilustración 8. Apisonador.



Fuente, http://www.escuelaing.edu.co/programas/ing_industrial/laboratorios/PIND/fundicion.pdf

2.2.10. Espátula. El exceso de arena en una caja de moldeo se elimina con una reglilla pero para garantizar un buen acople de las dos mitades del molde en arena, la espátula se utiliza para aplanar la superficie de cada mitad del molde.

Ilustración 9. Espátula.



Fuente, http://www.escuelaing.edu.co/programas/ing_industrial/laboratorios/PIND/fundicion.pdf

2.2.11. Cucharas y agujas. Las cucharas se utilizan para arreglar las cavidades generada por el modelo o los canales por los que fluirá el metal.

Las agujas generan los respiraderos que sean necesarios para permitir la salida de aire atrapado en la cavidad.

Ilustración 10. Cucharas y agujas.



Fuente, http://www.escuelaing.edu.co/programas/ing_industrial/laboratorios/PIND/fundicion.pdf

2.3 MARCO TEÓRICO

2.3.1. Horno de crisol. El horno de crisol es un equipo utilizado principalmente para la fusión de metales no ferrosos. En este equipo el metal a ser fundido se encuentra en el interior de un crisol fabricado de grafito o carburo de silicio. Este crisol se posiciona en el interior de la cámara de combustión cilíndrica, que a su vez está formada internamente por un revestimiento refractario y externamente por una carcasa de chapa de acero. El

revestimiento refractario normalmente se confecciona a partir de ladrillos especiales y posee la finalidad de resistir el elevado calor existente en el interior de la cámara de combustión, mientras que la carcasa tiene la finalidad de sustentar todo el conjunto. El interior de la cámara de combustión debe ser perfectamente cilíndrico para permitir la distribución uniforme del calor.

El crisol se posiciona en el centro de la cámara de combustión y se apoya sobre un pedestal, también confeccionado a partir de material refractario. Sobre el horno existe una tapa para evitar las pérdidas de calor e impedir la salida libre de la llama.

Otra característica importante es que el metal prácticamente no entra en contacto con la fuente de calentamiento (hecho por vía indirecta) y por esto, está sujeto a poca contaminación.

Ilustración 11. Hornos de crisol basculante.



Fuente, http://translate.google.com.co/translate?hl=es&langpair=en%7Ces&u=http://www.majoreng.com.au/metals.tilting_crucible.php

2.3.2 Formas de calentamiento de un horno de crisol. En relación a la forma de energía utilizada, los hornos de crisol pueden ser operados básicamente a través de energía eléctrica o de combustibles. En relación a la energía eléctrica, los hornos más comunes son de resistencia y de inducción. En cuanto a los combustibles, se puede utilizar una serie de formas diferentes. Cada forma de energía, sea eléctrica o en forma de combustible, posee sus ventajas y desventajas que deben ser aprovechadas o evitadas de acuerdo con las condiciones de producción exigidas, o en función de la política de abastecimiento adoptada.

Tabla 1. Principales tipos de combustible que pueden ser usados en la operación de los hornos de crisol. Fuente, diseño y construcción de un horno de crisol basculante, calentado por combustible para la fundición de aluminio. José Fernando Saltos Olalla, Juan José Vargas Carrillo.

Combustible	Tipo	Poder Calorífico (Kcal/Kg)
Sólido	Leña	3800
	Carbón mineral	4000 a 6000
	Coque de fundición	6200 a 7500
	Coque de petróleo	8000
	Carbón vegetal	6500 a 7000
Líquido	Gasolina	10200
	Petróleo diesel	11000 Kcal/litro
	Alcohol etílico	7300
	Querosene	11600
	Petróleo - Fuel - Oil - OC4	9820
Gaseoso		10000
	Gas licuado	10900
	Gas de coque	4500
	Gas natural	10000
	metano	8500

Fuente. Autores del proyecto

2.3.3 Medición de temperatura. La exactitud con que midan y controlen las temperaturas determinará el éxito de la operación de algunos procesos metalúrgicos, como la fundición, la refinación y el tratamiento térmico. También tendrá un profundo efecto sobre las propiedades de resistencia de muchos metales y aleaciones.

La temperatura de proceso debería controlarse dentro de $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$. Aunque a veces es posible este apretado rango, uno más práctico es de $\pm 5^{\circ}\text{C}$. - 21 -

Se deben ejecutar tres pasos en todo proceso de control de temperatura. Antes de poder establecer control, primero se debe "sentir" (detectar) la variable mediante algún mecanismo que responda a cambios en la calidad o valor de la variable. Luego esta cantidad o su cambio, debe ser indicada o registrada previo a ser controlada. Siguiendo la acción de control, el último paso en la secuencia es la transmisión de la salida del controlador al "elemento final", el cual es un componente del proceso en sí.

Los elementos finales envían por medio de un relé la salida del controlador y causan cambios correctivos en el proceso.

2.3.4 Sensores de temperatura. Como es a menudo el caso, una variable es medida y luego traducida, o convertida, a otra. Por ejemplo, las temperaturas ambientales se miden por la expansión o contracción de una columna de fluido o de un metal. Mediante calibración, estas variables se convierten a lecturas de temperatura numérica. Estos simples mecanismos, sin embargo, no se adecúan a temperaturas más elevadas. Los sensores utilizados para medir altas temperaturas son los termopares y los pirómetros. Como sea, ambos utilizan el mismo enfoque anterior; esto es, se mide una variable y se la convierte a otra.

2.3.5 Medición de la temperatura por el color. Uno de los métodos más sencillos para exterminar la temperatura de un metal es mediante la observación del color del cuerpo caliente. Existe una correlación trivial entre la temperatura de un metal y su color, como se ve en la *Tabla 1*. Este método dará sólo estimaciones de temperatura aproximadas, excepto cuando lo aplique un observador experimentado. La principal dificultad es que la apreciación del color varíe con los diferentes materiales.

Tabla 2. Variación del color con la temperatura. Fuente, diseño y construcción de un horno de crisol basculante, calentado por combustible para la fundición de aluminio. José Fernando Saltos Olalla, Juan José Vargas Carrillo.

COLOR	TEMPERATURA °C
Rojo tenue 	500
Rojo oscuro 	620
Cereza oscuro 	650
Rojo cereza 	700
Cereza subido 	800
Naranja oscuro 	900
Naranja 	950
Amarillo 	980

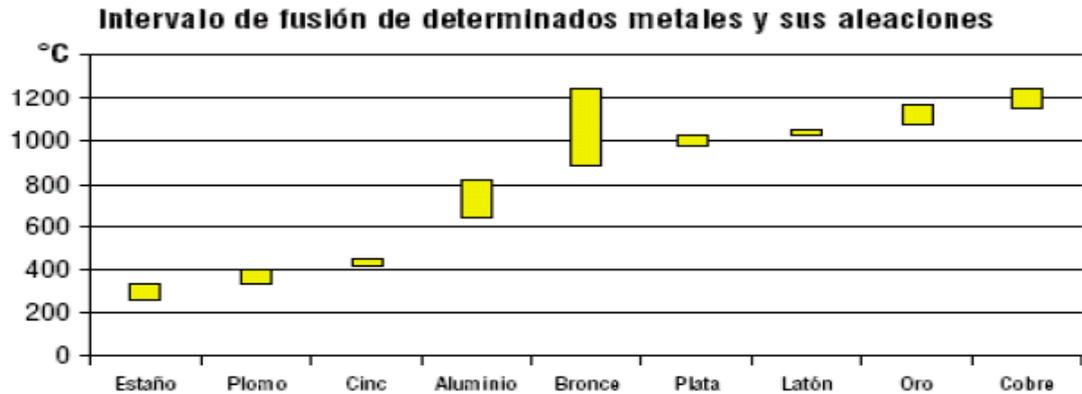
Si se necesita una indicación o un registro continuo de la temperatura, los instrumentos que se utilicen pueden ser de dos tipos:

Los sistemas mecánicos que funcionan esencialmente por efecto de la expansión de un metal, un líquido, un gas o vapor.

Los sistemas eléctricos que funcionan por medio de la resistencia eléctrica medida, un termopar, la radiación o pirómetros ópticos.

2.3.6 Punto de fusión de los metales. Los metales se funden a diferentes temperaturas, la *Tabla*. Muestra los puntos de fusión de los metales más comunes.

Tabla 3. Intervalos de fusión de determinados metales y sus aleaciones. Fuente, diseño y construcción de un horno de crisol basculante, calentado por combustible para la fundición de aluminio. José Fernando Saltos Olalla, Juan José Vargas Carrillo.



Fuente. Autores del proyecto

2.3.7 Condiciones para mejorar la productividad y reducir el consumo de combustible. Realización de la combustión en un volumen muy reducido.

Utilización de viento precalentado o de aire enriquecido en oxígeno.

Utilización de un combustible de calidad.

Reducción de pérdidas térmicas hacia el exterior.

2.3.8 Condiciones de facilidad de operación. Facilidad de instalación.

Facilidad de carga de material.

Comodidad en la ejecución de las operaciones.

2.3.9 Materiales.

Construcción del horno. Pala

Ladrillo refractario

Refractario molido

Quemador para A.C.P.M

Plancha de hierro

Crisol

Tubos

Fundición. Metal a fundir

Combustible
Encendedor

Colada. Pinzas
Moldes
Arena

Seguridad. Guantes
Respiradores
Ropa adecuada

2.3.10 Fundiciones de aleaciones no ferrosas. Las aleaciones no ferrosas de mayor aplicación se las puede clasificar en dos grupos, las primeras son las procedentes de alear cobre más estaño, o cobre más zinc denominadas por ello como aleaciones base cobre y las segundas son el resultado de alear aluminio más magnesio o aluminio-cobre, denominadas como aleaciones base aluminio. Cabe indicar que metales como el zinc, estaño magnesio se encuentran en menor porcentaje en relación al metal base.

2.3.11 Fundiciones de cobre. Se denominan latones a las aleaciones base cobre que contienen zinc, en cambio aquellas que contienen elementos como estaño se les conoce como bronce, debido a esto dos casos se puede indicar la existencia de una amplia variedad de materiales la importancia radica en las propiedades mecánicas fundamentalmente que dependen de su composición.

En el grupo de los latones se puede reconocer los siguientes tipos:

Latones con 5 a 10 % de zinc. El material presenta un bajo contenido de zinc, razón por la cual resulta fácil trabajar en frío, son bastante dúctiles pero presentan dificultad para ser maquinados, poseen gran resistencia a la corrosión y se desarrolla en forma adecuada al ser sometidos en altas temperaturas.

Latones con 20 a 36 % de zinc. Estas aleaciones presentan un contenido medio de zinc, razón principal para ser lo suficientemente baratos en el mercado, su maquinabilidad es aceptable, la resistencia es mejor que el anterior pero presenta problemas relacionados con la resistencia a la corrosión.

Latones con 36 a 40 % de zinc. Las aleaciones que presentan un contenido mayor de zinc tienen menor ductilidad

Resultan con problemas para trabajar en frío, por lo general estos materiales se extruyen en caliente.

Bronces. Los bronce presentan un amplio espectro de propiedades y composiciones, así por ejemplo el bronce de 5% de Si y 1% Mn que poseen propiedades similares a un acero dulce mantienen una buena resistencia a la corrosión.

El punto de fusión del cobre es aproximadamente de 1183 ° C, al mezclarse con sus principales aleantes (estaño – zinc) se tienen diferentes resultados, generalmente cuando se requiere fundir grandes cantidades de este material se usan hornos de reverbero; para fundidoras pequeñas constituyen en su mayoría los hornos que usan crisoles de grafito.

En la actualidad se emplean modernos hornos que permiten controlar de manera adecuada la temperatura y disminuir la absorción de gases cuando el metal se encuentra líquido, entre estos se puede citar el horno de inducción con cámara de vacío.

Para los bronce se sugiere una fusión rápida, así se alcanzará una mayor homogeneidad en la aleación y se recomienda realizar las fundiciones en dos pasos

Clasificación y lagoteado de la aleación.

Refundición de los lingotes y vaciado de la colada.

En la fusión ya sea en hornos de crisol, de reverbero o eléctricos se introduce primero trozos pequeños de metal añadiendo materiales protectores; en segundo lugar se introducen los elementos de aleación como son estaño o zinc

2.3.12 Fundiciones de aluminio. Evaluando el costo y la resistencia de las aleaciones de aluminio, se tienen que estos productos se hallan empleados en mayor número en las industrias.

Como característica esencial de este material se menciona que la densidad del aluminio es aproximadamente 2770 Kg/ m³, presenta una resistencia de 916Kg/cm² (13000 PSI) pero se mejora con los trabajos en frío y aleándolo con otros materiales, su módulo de elasticidad es de 725683 Kg/cm² (10.3 Mpsi).

El aluminio es un material que se funde a 660 ° C, generalmente el aluminio puro no se usa en la industria de la fundición.

Para fundir esta aleación, se sugiere que el metal no choque con los gases de combustión, además el proceso debe ser en forma rápida ya que el material es susceptible de absorción de oxígeno e hidrógeno del medio ambiente provocando que la fundición presente deficiencias.

En la preparación de la fundición se procede en primer lugar a fundir el aluminio, y finalmente dependiendo su afinidad a oxidarse se agregan elementos de aleación; se puede también proceder a la refusión de las aleaciones preestablecidas.

2.4. MARCO LEGAL.

Artículo 19: (Reglamentado por la Resolución 898 de 1995). Restricción de uso de combustibles contaminantes. No podrán emplearse combustibles con contenidos de sustancias contaminantes superiores a los que establezcan los respectivos estándares, en

calderas y hornos para uso comercial e industrial o para generación de energía en termoeléctricas o en motores de combustión interna de vehículos automotores.

El Ministerio del Medio Ambiente establecerá las normas y los criterios ambientales de calidad que deberán observarse en el uso de combustibles, de acuerdo con lo dispuesto en este artículo.

Artículo 24: (Modificado por el Decreto 1697 de 1997, artículo 1). Combustión de aceites lubricantes de desecho. Se prohíbe el uso de aceites lubricantes de desecho, como combustible en calderas u hornos de carácter comercial o industrial, a partir del 1 de enero de 1997.

Con anterioridad a la fecha en que empezará a regir la prohibición de que trata este artículo el aceite lubricante de desecho no podrá ser utilizado como combustible único en ningún proceso y deberá ser mezclado en proporción no mayor del 40% con otros combustibles líquidos refinados.

Artículo 25: (Modificado por el Decreto 2107 de 1995, artículo 1). Prohibición del uso de crudos pesados. Se prohíbe el uso de Crudo de Castilla así como de otros crudos pesados con contenidos de azufre superiores a 1.7% en peso, como combustibles en calderas u hornos de establecimientos de carácter comercial, industrial o de servicio, a partir del 1o. de enero del año 2001.

PARÁGRAFO: Sin embargo, a partir del 1 de enero del año 2001, su uso como combustible en hornos y calderas se permitirá, siempre y cuando se realice dentro del respectivo campo de producción, en cuyo caso el usuario estará obligado a cumplir con las normas de emisión que expida el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE.

3. DISEÑO METODOLÓGICO.

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

En el mercado hay muchos tipos y clases de hornos de crisol basculante, donde; los diseñadores de dichos hornos escogen a su voluntad o según se requieran las características y dimensiones, este no es caso aparte, debido a que también las características y dimensiones para este proyecto serán caprichos del diseñador; por lo tanto es una investigación descriptiva. Usando el método analítico porque sus partes se diseñan y se construyen bajo especificaciones o parámetros de ingeniería.

3.2. POBLACIÓN

Para el desarrollo del proyecto, la población tomada como referencia serán los estudiantes de ingeniería mecánica matriculados de los cuales se tomara una muestra para ser encuestados. Teniendo como base la información dada, la población es de 324 estudiantes.

3.3. MUESTRA

Teniendo como soporte la población anterior, se acudirá al muestreo probabilístico aleatorio simple (al azar), buscando dar equilibrada participación al estudiantado. Por lo cual se recurrirá a una formula estadística.

$$n = \frac{N(Zc)^2 * P * q}{(N - 1) * (E)^2 + (Zc)^2 * P * q}$$

n= Muestra

Zc= Indicador de confianza (1.96)

P= Proporción de aceptación (0.5)

q= proporción de rechazo (0.5)

E= Error poblacional dispuesta a asumir (0.06)

N= 324

$$n = \frac{324(1.96)^2 * 0.5 * 0.5}{(324 - 1) * (0.06)^2 + (1.96)^2 * 0.5 * 0.5}$$

n = 147

3.4. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

3.4.1. Observación. Este proyecto se realizara bajo especificaciones y recomendaciones de diseño mecánico, procesos de manufacturas y transferencia de calor.

3.4.2. Encuesta. Para obtener información detallada y precisa se recurrirá a la población estudiantil de la carrera de ingeniería mecánica.

3.5. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Luego de realizar la recolección de la información se hará un análisis de la siguiente manera:

Registrar y agrupar los datos en tablas de frecuencia que permitirá obtener parámetros estadísticos como son: la moda, la media, desviación estándar, etc.

4. RESULTADOS

4.1 IDENTIFICAR LOS DIFERENTES TIPOS DE HORNOS PARA LA FUNDICIÓN DE MATERIALES

Los diferentes tipos de horno de crisol se pueden definir de la siguiente manera:

4.1.1 Hornos pozo. El crisol es removido del horno y llevado hasta los moldes para vaciar el metal. Este horno se puede construir sobre o bajo el nivel del suelo. En ambos casos el horno es fijo. Existen en una variedad de tamaño para acomodar crisoles desde 15 a 150 kg de capacidad de latón. Son extremadamente flexibles, tanto en relación a las aleaciones como a las cantidades. Se pueden usar crisoles distintos para diferentes aleaciones y hasta cierto punto, crisoles de distinto tamaño en un mismo horno.

4.1.2 Hornos Bale-out (de espera). El metal es retirado del crisol con cucharas y transferido a los moldes. Se utilizan principalmente, para fundición bajo presión, donde se necesitan pequeñas cantidades a intervalos frecuentes. Capacidades típicas en el rango de 50 a 500 kg de aluminio y 110 a 330 kg de latón. Rendimiento máximo: 240 kg de aluminio por hora.

4.1.3 Hornos Basculantes. Son hornos móviles apoyados sobre un sistema de sustentación. Usualmente se les utiliza cuando es necesaria una producción relativamente grande de una aleación determinada. El metal es transferido a los moldes en una cuchara o un crisol precalentado, con la excepción de casos especiales en que es vaciado directamente. El tipo original de horno basculante, con capacidades de 70 a 750 kg de latón, bascula en torno a un eje central. Su desventaja es que el punto de descarga acompaña el movimiento basculante. Para superar este inconveniente se desarrolló un horno basculante de eje en la piqueta, con capacidad de 200 a 750 kg de latón, y el modelo moderno es basculado por pistones hidráulicos, otorgando la ventaja de un mayor control en la operación de vaciado.

4.1.4 Horno de crisol inmerso. Es el inverso del horno normal de crisol, en el sentido de que la llama quema dentro del crisol que está inmerso en el baño de aleación de zinc o aluminio, el cual se encuentra en un recipiente refractario. Estos hornos son fabricados con capacidad de fusión de 300 a 1000 kg de aluminio por hora. Sus ventajas principales respecto de hornos de llama abierta son una mayor eficiencia, que alcanza a un 40% y pérdidas de metal de tan sólo un 1 ó 2%, otorgando una considerable economía financiera.

4.1.5 Horno rotativo de crisol. Se utilizan para la recuperación de viruta, escoria y otros tipos de chatarra menuda. El horno contiene un crisol con forma de garrafa, con capacidad de 300 kg de limadura de latón y trabaja a un ángulo aproximado de 50° con respecto a la vertical. El cuerpo del horno y el crisol giran constantemente durante la fusión, trayendo el metal para el lado caliente del crisol y tirando la limadura no fundida hacia adentro y abajo del metal ya fundido. De esta forma, la rotación proporciona una fusión más rápida y también evita la adhesión de la carga a las paredes del crisol, como ocurre frecuentemente

con los hornos convencionales. El formato del crisol y especialmente el cuello estrecho, junto con las condiciones neutras o reductoras dentro del crisol, virtualmente eliminan las pérdidas por oxidación de las cargas y aseguran una alta recuperación de metal (un porcentaje típico es la recuperación de un 94% del metal de limadura de latón 60/40, conteniendo 3% de aceite).

Ventajas horno crisol pozo

Se pueden usar crisoles distintos para diferentes aleaciones y, hasta cierto punto, crisoles de distinto tamaño en un mismo horno

Son extremadamente flexibles, tanto en relación a las aleaciones como a las cantidades

Desventajas

El crisol es removido del horno y llevado hasta los moldes para vaciar el metal por lo que puede ser un peligro para los operarios.

Ventajas horno crisol bale out

Pueden estar en espera para que cada vez que se necesite material esté disponible.

Ventajas horno crisol basculante:

Se usan en producciones grandes.

El metal Puede ser vaciado sobre los moldes en cucharas.

Desventajas

Su desventaja es que el punto de descarga acompaña el movimiento basculante.

Ventajas de hornos de crisol inmersos:

Sus ventajas principales respecto de hornos de llama abierta son una mayor eficiencia, que alcanza a un 40% y pérdidas de metal de tan sólo un 1 ó 2%, otorgando una considerable economía financiera.

Desventajas

La llama da directamente sobre el metal lo que no hace que la fundición no sea muy limpia.

Ventajas de hornos de crisol rotativos.

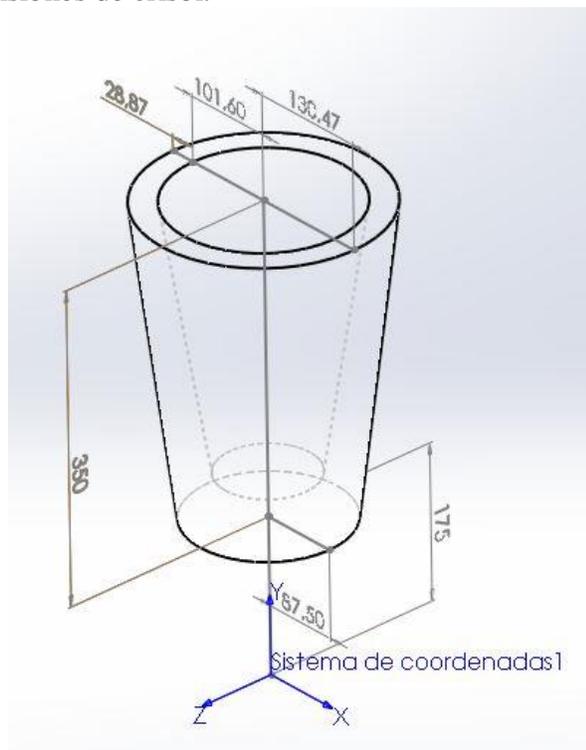
La rotación proporciona una fusión más rápida y también evita la adhesión de la carga a las paredes del crisol.

El cuello estrecho, junto con las condiciones neutras o reductoras dentro del crisol, virtualmente elimina las pérdidas por oxidación de las cargas y aseguran una alta recuperación de metal

4.2 DISEÑAR Y CALCULAR LOS DIFERENTES ELEMENTOS DEL HORNO DE CRISOL BASCULANTE PARA LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

4.2.1 Dimensionamiento de la cámara de combustión. Por recomendación la distancia mínima de la pared del horno hasta el diámetro máximo del crisol debe ser 2 pulgadas.

Ilustración 12. Dimensiones de crisol.



Fuente: autores de proyecto.

Diámetro exterior superior $\varnothing_{\text{ext, sup}} = 260\text{mm}$

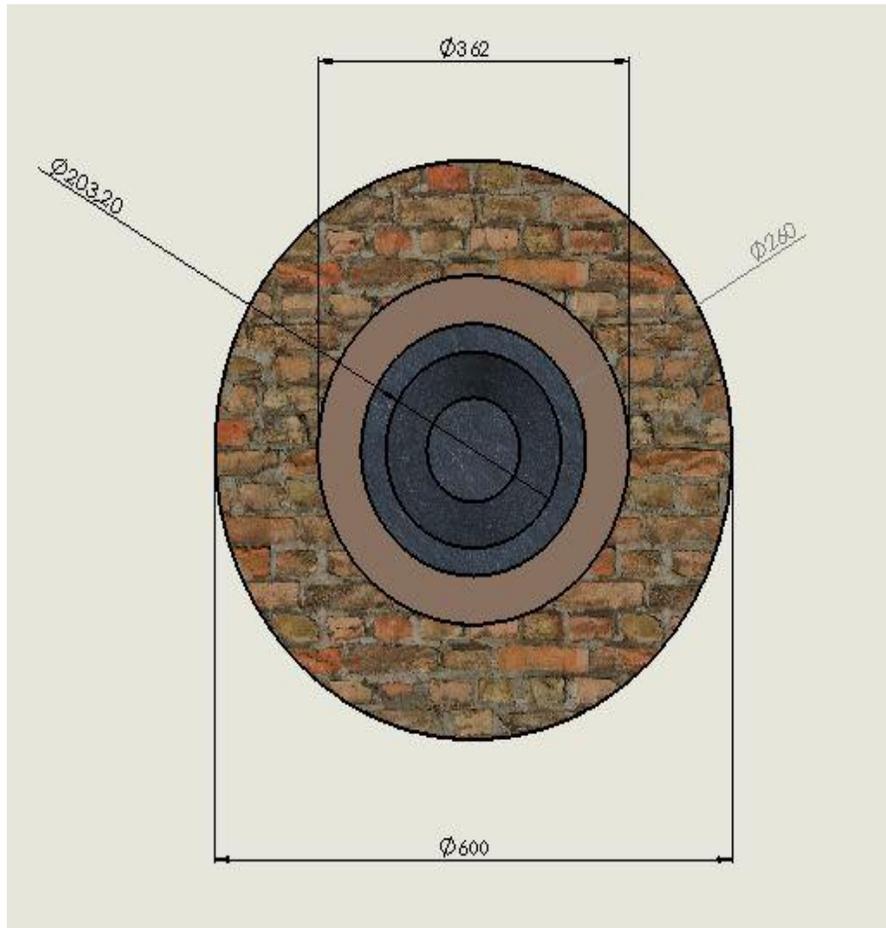
Diámetro inferior $\varnothing_{\text{inf}} = 175\text{mm}$

Diámetro interno superior $\varnothing_{\text{int, sup}} = 203,2\text{mm}$

Altura = 350mm

Masa del crisol $m = 25\text{kg}$

Ilustración 13. Diámetro del horno



Fuente: autores del proyecto.

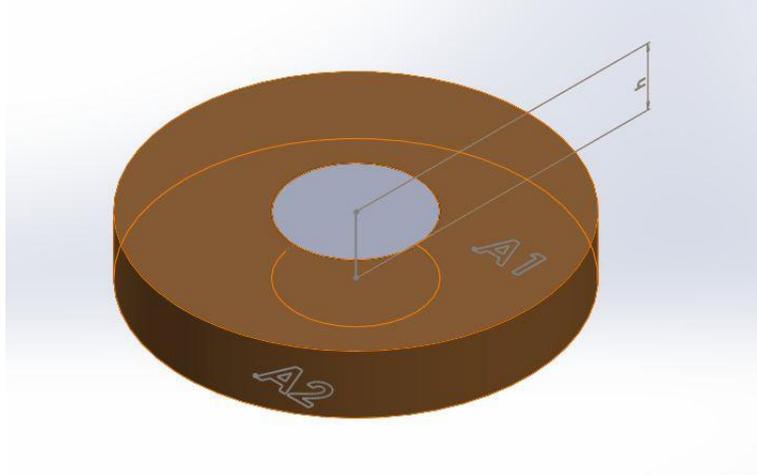
dir = diámetro interno refractario
der = diámetro externo refractario
Eref = espesor refractario
 $dir = \text{Ø}_{\text{ext,sup}} + 2(51)$
 $dir = 260 + 102$
 $dir = 362\text{mm}$

$der = dir + E_{\text{ref}}$
 $der = 362 + 2(114+5)$
 $der = 600\text{mm}$

Altura horno

4.2.2 Calculo de cubierta de chapa metálica.

Ilustración 14. Cubierta de chapa metálica

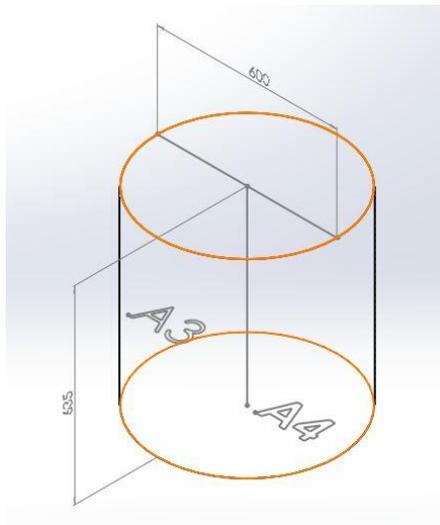


Fuente: autores de proyecto.

$$A1 = \pi r^2 = \pi (300)^2 \rightarrow A1 = 282,74334\text{mm}^2 = 0,2827\text{m}^2$$

$$A2 = 2\pi rh = 2\pi (300) (75) \rightarrow A2 = 141371,67\text{mm}^2 = 0,14137\text{m}^2$$

Ilustración 15. Cilindro chapa metálica.



Fuente: autores de proyecto.

$$A3 = \pi oh = \pi(600)(635) \rightarrow A3 = 1196946,8 = 1,197\text{m}^2$$

$$A4 = A1 = 0,2827\text{m}^2$$

4.2.3 Diseño térmico. Parámetros a tener en cuenta:

T_{α} = Temperatura exterior = 22°C → (tomado de

[http://es.wikipedia.org/wiki/Oca%C3%B1a_\(Norte_de_Santander\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Oca%C3%B1a_(Norte_de_Santander)))

T_d = Temperatura de diseño = 660°C → Punto de fusión del aluminio – (Tomado de

<https://www.google.com.co/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=temperatura+fusi3n+del+aluminio>)

t = tiempo de calentamiento = 60 min

Capacidad del horno = 19kg

T_v = temperatura óptima de colado = 760 °C

Energía necesaria para llevar el metal de sólido a líquido. En el proceso de la fusión debemos pasar los metales y sus aleaciones del estado sólido al estado líquido, generando determinada cantidad de calor, bien definida y característica para cada metal o aleación. Como se comprende fácilmente, después de que ha alcanzado la temperatura o punto de fusión es necesario aplicar más calor para poder transformar el metal o la aleación de sólido a líquido. Durante este período la temperatura no aumenta y la cantidad de calor generada destinada solamente a disgregar el estado sólido, se llama calor latente de fusión. Si cuando toda la masa es líquida, se continúa generando calor, la temperatura vuelve a aumentar y el metal se recalienta.

La energía para llevar al metal a la temperatura de vertido es la suma de 3 cantidades.

Q1: Calor para elevar la temperatura del metal desde la temperatura ambiente.

Q2: Calor de fusión de la aleación o la energía necesaria para convertirla de sólido a líquido, llamado calor latente de fusión.

Q3: Calor requerido para sobrecalentar el metal hasta la temperatura de vertido (760°C)

$$Q = Q1 + Q2 + Q3$$

Tomado de: diseño y construcción de un horno de crisol basculante, calentado por combustible para la fundición de aluminio. José Fernando Saltos Olalla, Juan José Vargas Carrillo.

Donde el calor está determinado por la expresión

$$Q = \frac{m C_p (T_f - T_o)}{t}$$

$$Q = \frac{mC_p (T_d - T_a)}{T};^1$$

donde

Q = Calor (Kcal/h)

m = peso de la carga (19kg)

CPalum = calor específico del aluminio (0,217 KCal/kg.°C).²

Calor latente de fusión = $395\text{kJ/kg} \cdot \frac{1\text{KCal}}{4,184\text{kg}} = 94,4 \text{ KCal/Kg}$. Tomado de:

Tabla 4. Energía necesaria para llevar el metal sólido a líquido.

Sustancia	T fusión °C	$L_f \cdot 10^3$ (J/kg)	T ebullición °C	$L_v \cdot 10^3$ (J/kg)
Hielo (agua)	0	334	100	2260
Alcohol etílico	-114	105	78.3	846
Acetona	-94.3	96	56.2	524
Benceno	5.5	127	80.2	396
Aluminio	658.7	322-395	2300	9220
Estaño	231.9	59	2270	3020
Hierro	1530	293	3050	6300
Cobre	1083	214	2360	5410
Mercurio	-38.9	11.73	356.7	285
Plomo	327.3	22.5	1750	880
Potasio	64	60.8	760	2080
Sodio	98	113	883	4220

Fuente: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/otros/fusion/fusion.ht>

$$Q_1 = \frac{19(0,217)(660-22)}{1} \rightarrow Q_1 = 2630\text{KCal/h}$$

$$Q_2 = \frac{19 \cdot 94,4}{1} \rightarrow Q_2 = 1793,6 \text{ KCal/h}$$

$$Q_3 = \frac{19(0,217)(760-660)}{1} \rightarrow Q_3 = 412,3\text{KCal/h}$$

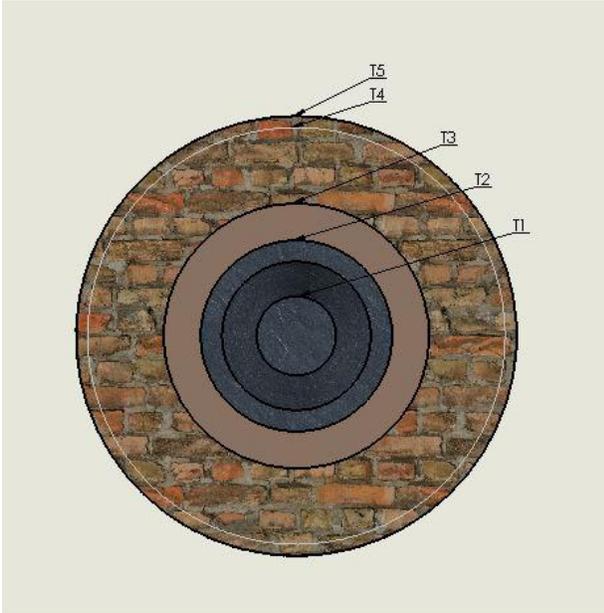
$$Q = 2630 + 1793,6 + 412,3$$

Q = 4836 KCal/h \rightarrow Calor necesario para fundir el metal

¹ tomado de: Cengel Yunus A. transferencia de calor y masa, McG raw-Hill Interamericana Mexico 2007. 901p

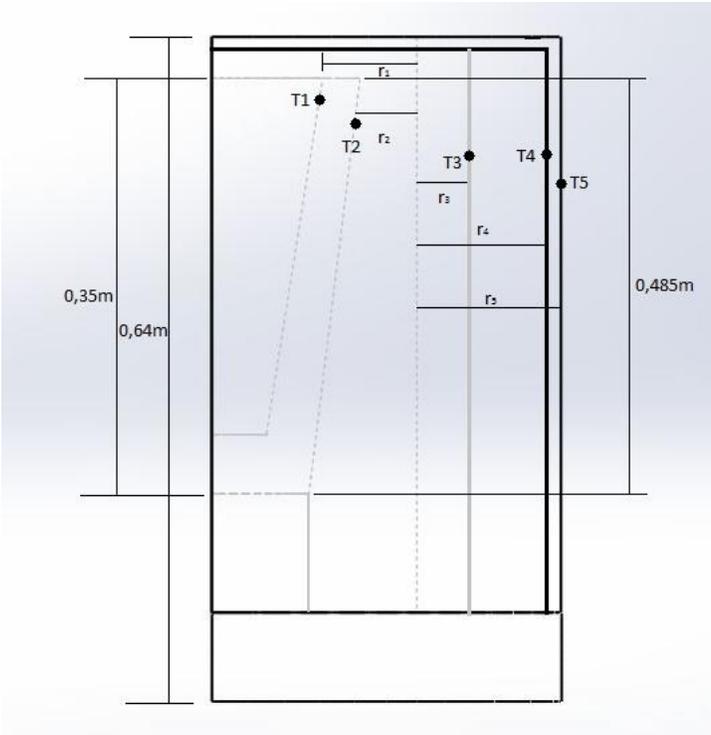
² Tomado de: http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/tb01_calor.php

Ilustración 16. Pérdida de calor por las paredes.



Fuente: autores de proyecto.

Ilustración 17. Diagrama de temperaturas.



Fuente: autores del proyecto.

Radio tomado desde el centro de de la cámara de combustión hasta el diámetro interno superior del crisol: $r_1 = 0,0509\text{m}$

Radio tomado desde el centro de de la cámara de combustión hasta el diámetro externo superior del crisol: $r_2 = 0,255\text{m}$

Radio tomado desde el centro de de la cámara de combustión hasta el diámetro interno de la pared refractaria: $r_3 = 0,0255\text{m}$

Radio tomado desde el centro de de la cámara de combustión hasta el diámetro externo de la pared refractaria: $r_4 = 0,1395\text{m}$

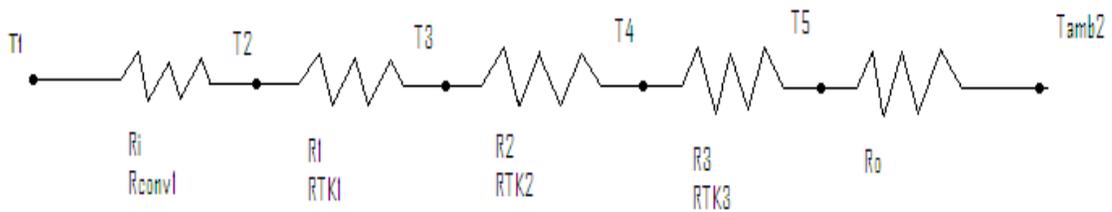
Radio tomado desde el centro de de la cámara de combustión hasta el diámetro externo de la chapa metálica: $r_5 = 0,1442625\text{m}$

Para este caso aplicamos la analogía entre flujo de calor y flujo eléctrico.

$Q_{\text{con,cil}} = \frac{2\pi Lk(T_1 - T_2)}{t \ln(r_1/r_2)}$; (tomado de: Cengel Yunus A. transferencia de calor y masa, McG- raw-Hill Interamericana Mexico 2007. 901p)

$K_{\text{crisol}} = 129\text{w/m.c} \rightarrow$ (tomado de <http://www.eric.es/web/aislamiento-termico/>)

Ilustración 18. Analogía entre flujo de calor y flujo eléctrico.



Fuente: autores del proyecto.

$Q_{\text{cond,crisol}} =$ flujo de calor necesario para fundir el metal = 4836KCal/h

$K =$ coeficiente de conducción térmica del grafito = $129\text{w/m.}^\circ\text{C}$

$L =$ longitud del crisol = $0,35\text{m}$

$T_1 =$ temperatura interior de la pared del crisol = 760°C

$T_2 =$ temperatura exterior de la pared del crisol

T3 = temperatura interior de la pared del refractario

T4 = temperatura exterior de la pared del refractario

T5 = temperatura exterior chapa metálica

Entonces reemplazando:

$$Q = 2\pi LK \frac{(T2-T1)}{\ln(r1/r2)} \rightarrow 4836 = \frac{2\pi(0,35)(129)(T2-760)}{\ln(0,0509/0,0255)}$$

$$T2 = 771,78^\circ\text{C}$$

Ahora calculamos la resistencia térmica de la pared refractaria:

$$L = 0,485\text{m}$$

$$K_{\text{lad ref}} = 1,07\text{w/m}^\circ\text{C}^3$$

$$R_{\text{cond}} = \frac{\ln(r4/r2)}{\text{lad} \quad 2\pi LK}$$

$$R_{\text{cond}} = \frac{\ln(0,1395/0,0255)}{\text{lad} \quad 2\pi(0,485)(1,07)} \rightarrow R_{\text{cond}} = 0,5212 \text{ }^\circ\text{C/w}$$

Luego calculamos la resistencia térmica de la chapa de acero:

$$L = 0,485\text{m}$$

$$K_{\text{acero}} = 50\text{w/m }^\circ\text{C} \rightarrow (\text{tomado de: } \text{http://www.eric.es/web/aislamiento-termico/})$$

$$R_{\text{cond}} = \frac{\ln(r5/rA)}{\text{acero} \quad 2\pi LK} = \frac{\ln(0,1442625/0,1395)}{2\pi(0,485)(50)}$$

$$R_{\text{cond}} = 0,22 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C/w}$$

Acero

Coefficiente de transferencia de calor por convección natural para los gases.

Tomamos $h = 20\text{w/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ \rightarrow de tabla 1-5 de tomado de: Cengel Yunus A. transferencia de calor y masa, McG- raw-Hill Interamericana Mexico 2007. 901p)

$$R_{\text{conv}} = \frac{1}{\text{hA}} = \frac{1}{\text{h} \cdot 2\pi r L}$$

³ http://www.venalum.com.ve/Materias_Primas/Paginas/Ladrillos_refractarios.htm

$$\text{ambiente} \quad H\alpha 2\pi r 5L \quad (20)(2)\pi(0,1442625)(0,485)$$

$$R_{\text{conv}} = 0,1137^\circ\text{C/w}$$

Ambiente

$$R_t = R_{\text{cond}} + R_{\text{cond}} + R_{\text{conv}} = 0,5212 + 0,22 \times 10^{-3} + 0,1137$$

Lad acero ambiente

$$R_t = 0,635^\circ\text{C/w}$$

Procedemos a calcular la pérdida de calor en la pared exterior de acero: $T_2 = T_3$;

$$T_{\text{amb}} = 22^\circ\text{C}. \rightarrow^4$$

$$Q_{\text{perdido}} = \Delta T / R_t = \frac{771,78 - 22}{0,635}$$

$$Q_{\text{perdido}} = 1180,76\text{w}$$

Ahora calcularemos la temperatura en la pared exterior del ladrillo refractario = T_4 , para luego calcular la temperatura en la pared exterior de la placa de acero = T_5

$$Q_{\text{perdido}} = - \frac{(T_4 - T_3)}{R_{\text{condLad}}} = - \frac{(T_4 - 771,78)}{0,5212} = 1180,76$$

$$-615,4 = T_4 - 771,78 \rightarrow T_4 = 771,78 - 615,4$$

$$T_4 = 156,38^\circ\text{C}$$

Hallando T_5

$$Q_{\text{perdido}} = - \frac{(T_5 - T_4)}{R_{\text{condLad}}} = - \frac{(T_5 - 156,38)}{0,22 \times 10^{-3}} = 1180,76$$

$$T_5 = 156,12^\circ\text{C}$$

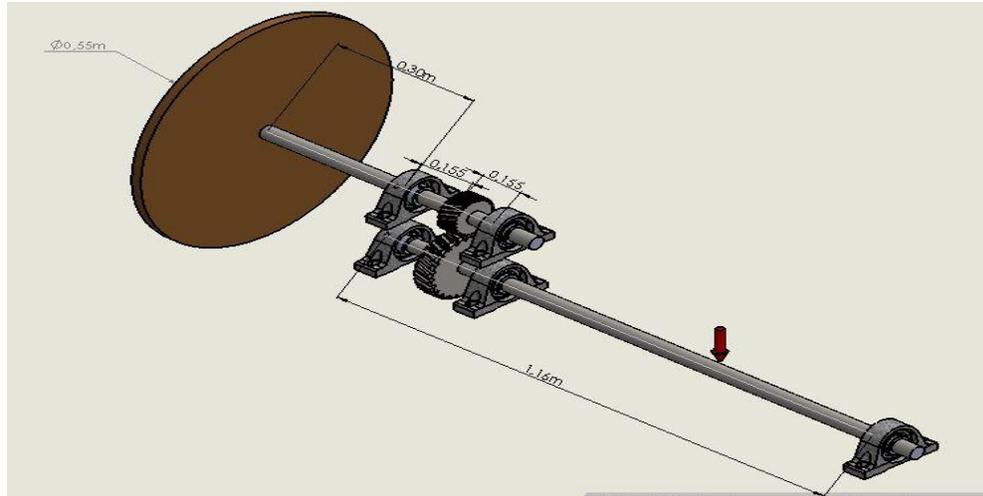
$$Q_{\text{perdido}} = 1180,76\text{w} \frac{1\text{KCal/h}}{1,163\text{w}}$$

$$Q_{\text{perdido}} = 1045\text{KCal/h}$$

⁴ [http://es.wikipedia.org/wiki/Oca%C3%B1a_\(Norte_de_Santander\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Oca%C3%B1a_(Norte_de_Santander))

4.2.4 Diseño de los ejes.

Ilustración 19. Diseño de los ejes.



Fuente: autores del proyecto.

Masa total del cuerpo del horno $M = 533.37\text{kg}$. al la masa por la aceleración de la gravedad obtenemos la fuerza puntual que actúa en el eje 2.

$$F_t = 533,37\text{Kg} * 9,81\text{m/s} \rightarrow F_t = 5232,4\text{N}$$

0

Para el diseño de los ejes seleccionamos el tipo de material ACERO AISI 1020CD

Esfuerzo ultimo $S_y = 390\text{MPa}$

Factor de seguridad $N_s = 3$, lo asumimos.

Numero de dientes del piñón $Z_p = 25\text{dien}$

Numero de dientes de la corona $Z_c = 43\text{dien}$

Angulo de entrada $\phi_n = 20^\circ$

Angulo de hélice $\psi = 30^\circ$

Paso normal $P_n = 8\text{dien/in}$

(Tomado de: diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett. Octava edición)

Calculando el torque.

$$T = F \cdot r \rightarrow \text{para este paso se multiplica por 2}$$

Donde:

T= torque

F = fuerza

r = radio

$$T1 = 50\text{Kg} * 0,275\text{m} * 2$$

$$T1 = 27,5\text{Kg} * 9,81\text{m/s}$$

$$T1 = 270\text{N.m}$$

Hallamos el paso transversal.

$$Pt = Pn \cos \psi = 8 \cos 30^\circ$$

$$Pt = 6,9282 \text{ dientes/in}$$

Luego calculamos los diámetros de los engranes.

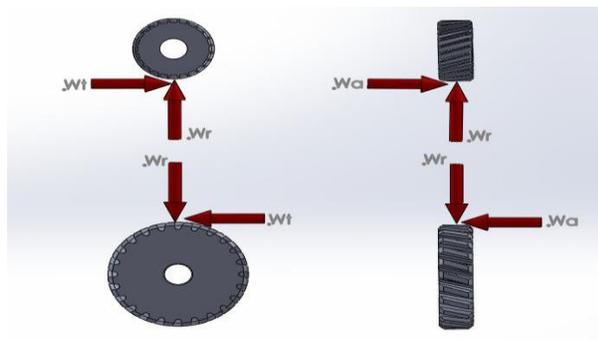
Diámetro del piñón = d_p
 Diámetro de la corona = d_c

$$d_p = \frac{Z_p}{Pt} = \frac{25}{6,9282} \rightarrow d_p = 3,61\text{in} = 9,16\text{cm}$$

$$d_c = \frac{43}{6,9282} \rightarrow d_c = 6,2\text{in} = 15,75$$

Calculo de fuerzas que actúan sobre los engranes.

Ilustración 20. Fuerzas a las que están sometidas los engranes.



Fuente: autores del proyecto.

W_t = carga tangencial
 W_r = carga radial
 W_a = carga axial

$$T = \frac{d}{2} W_t \rightarrow W_t = \frac{2T}{d_p} = \frac{2 * 270\text{N.m}}{0,0916\text{m}} \rightarrow W_t = 5895, 2\text{N}$$

$$W_a = W_t \tan \psi = 5895, 2 * \tan 30^\circ \rightarrow W_a = 3403, 6\text{N}$$

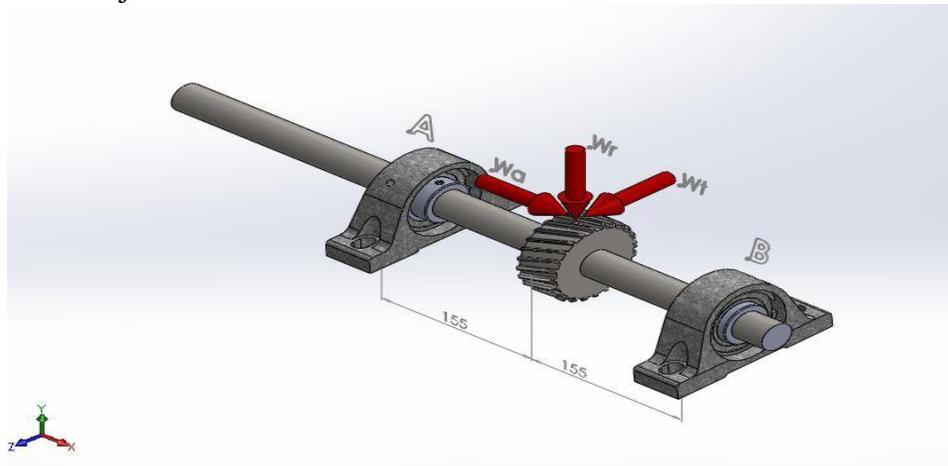
$$\tan\theta_n = \tan\theta_t \cos\psi \rightarrow \tan\theta_t = \tan\theta_n / \cos\psi = \tan 20^\circ / \cos 30^\circ$$

$$\theta_t = 22,8^\circ$$

$$W_r = W_t \tan\theta_n = 5895,2 * \tan 22,8^\circ \rightarrow W_r = 2478 \text{ N}$$

Estudio del eje 1.

Ilustración 21. Eje 1.



Fuente: autores del proyecto.

Plano XY.

$$+ \Sigma F_y = 0:$$

$$A_y + B_y = W_r$$

$$+ \Sigma M_A = 0$$

$$-0,155 W_r + B_y (0,31) = 0$$

$$B_y = 1239 \text{ N}$$

$$A_y = 2478 - 1239$$

$$A_y = 1239 \text{ N}$$

$$M_{\text{máxxy}} = 192 \text{ N.m}$$

Plano XZ.

$$A_z = B_z = 2947,6 \text{ N}$$

$$M_{\text{máxxz}} = 457 \text{ N.m}$$

$$M_{\text{máx}} = \sqrt{(115,24)^2 + (274,13)^2}$$

$$M_{\text{máx}} = 495,7\text{N.m} \approx 495700\text{N.mm}$$

Usando la teoría de la energía de distorsión (E.D.T):

$$d1 = \left(\frac{32ns}{\pi S_y} \sqrt{M^2 + \frac{3}{4}T^2} \right)^{1/3}$$

$$d1 = \left(\frac{32(3)}{\pi(390)} \sqrt{(495.700^2 + \frac{3}{4}(270.000^2))} \right)^{1/3}$$

$$d1 = 35,018 \rightarrow d1 \approx 3.5\text{cm} \approx 1.4\text{in}$$

Usando la teoría del esfuerzo máximo cortante (MSST):

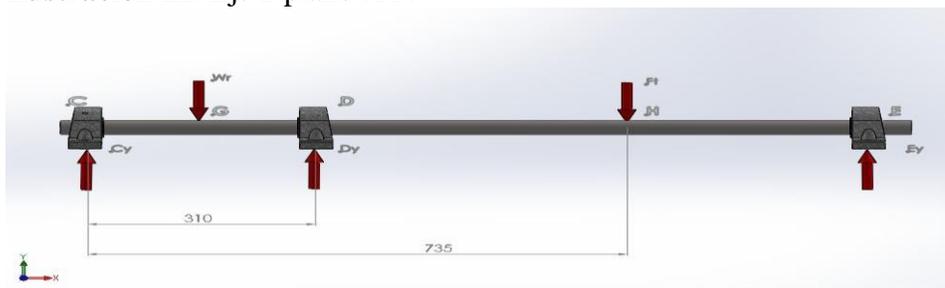
$$d1 = \left(\frac{32ns}{\pi S_y} \sqrt{M^2 + T^2} \right)^{1/3}$$

$$d1 = \left(\frac{32(3)}{\pi(390)} \sqrt{495.700^2 + 270.000^2} \right)^{1/3}$$

$$d1 = 35.01 \rightarrow d1 \approx 35\text{mm} \approx 1.4\text{in}$$

Estudio del eje 2.

Ilustración 22. Eje 2 plano XY.



Fuente: autores del proyecto.

Plano XY.

$$+ \Sigma F_y = 0$$

$$C_y + D_y + E_y = 7710,4$$

$$+ \Sigma M_c = 0$$

$$O = -(0,155)Wr + (0,31)Dy - (0,735)Fr + (1,16)Ey$$

$$O = -384,1 + 0,31Dy - 3846 + 1,16Ey$$

$$0,31Dy + 1,16Ey = 4230,1$$

El eje es estáticamente indeterminado; por lo tanto usaremos el método de la superposición, tomando D_r como la reacción redundante:

De tabla A-9 SHIGLEY J. Diseño de Elementos Mecánicos. Sexta Edición. Apoyos simples.

$$\delta_{D1} = \frac{Wrbx}{6EIL} (x^2 + b^2 - L^2)$$

$$\delta_{D1} = \frac{(2478)(1,005)(0,31)}{6EI(1,16)} ((0,31)^2 + (1,005)^2 - (1,16)^2)$$

$$\delta_{D1} = - \frac{26,56}{EI} \text{ m}$$

De tabla D, pagina 762 de BEER & JOHNSTONS caso 5 para $x < a$

$$\delta_{D2} = \frac{F_T b}{6EIL} [x^3 - (L^2 - b^2)x]$$

$$\delta_{D2} = \frac{(5232,4)(0,425)}{6EIL(1,16)} [(0,31)^3 - (1,16^2 - 0,425^2)(0,31)]$$

$$\delta_{D2} = - \frac{105,87}{EI}$$

Como $x = a$ la ecuación de deflexión queda:

$$\delta_{D3} = \frac{Dybx}{bEIL} (L^2 - 5^2 - x^2)$$

$$\delta_{D3} = \frac{Dyba}{bEIL} (a^2 - b^2 - L^2)$$

$$\delta_{D3} = \frac{Dyba}{bEIL} (a^2 + b^2 - (a+b)^2)$$

$$\delta_{D3} = -\frac{Dyba}{bEIL} (a^2 + b^2 - a^2 + 2ab - b^2)$$

$$\delta_{D3} = -\frac{Dyba}{bEIL} (2ab)$$

$$\delta_{D3} = -\frac{Dya^2b^2}{3EIL}$$

Como la deflexión es hacia arriba es negativa, así la ecuación queda:

$$\delta_{D3} = \frac{Dya^2b^2}{3EIL} = \frac{(0,31)^2(0,85)^2Dy}{3EI(1,16)} \rightarrow$$

$$\delta_{D3} = \frac{0,02Dy}{EI}$$

Puesto que en el punto D está ubicado un rodamiento (chumacera) y no va a tener desplazamiento tomamos $\delta_D = 0$

$$\delta_D = \delta_{D1} + \delta_{D2} + \delta_{D3} = 0$$

$$-\frac{26,56}{EI} - \frac{105,87}{EI} + \frac{0,020Dy}{EI} = 0 \rightarrow Dy = 6621,5 \text{ N}$$

Ahora reemplazando en las ecuaciones de equilibrio obtenemos las demás incógnitas:

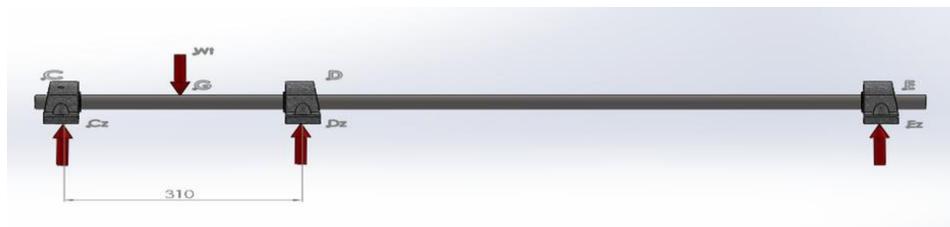
$$Ey = 1877,1$$

$$Cy = 7710,4 - Dy - Ey \rightarrow Cy = -788,2 \text{ N}$$

$$M_{\text{máx}xy} = 797,6 \text{ N.m} = 797600 \text{ N.mm}$$

Plano XZ.

Ilustración 23. Eje 2. Plano XZ.



Fuente: autores del proyecto.

$$+\uparrow \Sigma F_z = 0$$

$$C_z + D_z + E_z - W_t = 0$$

$$C_z + D_z + E_z = 5895,2$$

$$+ \Sigma M_c = 0.$$

$$- (0,155) (5895,2) + (0,31)D_z + 1,16E_z = 0$$

$$0,31D_z + 1,16E_z = 913,756$$

$$E_z = 787,72 - 0,267D_z$$

$$T_2 = W_t * d / 2 = \frac{5895,2 * 157,5 \text{ mm}}{2}$$

$$T_2 = 464247 \text{ N.mm}$$

El eje es el mismo, por lo tanto acá también sigue siendo estáticamente indeterminado. Y tomamos E_y como la reacción redundante.

$$Y_{D1} = \frac{Wtbx}{bEI} (x^2 + b^2 - L^2)$$

$$Y_{D1} = \frac{(5895,2)(1,005)(0,31)}{bEI(1,16)} ((0,31)^2 + (1,005)^2 - (1,16)^2)$$

$$Y_{D1} = - \frac{63,2 \text{ m}}{EI}$$

$$Y_{D2} = \frac{Dza^2b^2}{3EI}$$

$$Y_{D2} = \frac{(0,31)^2(0,85)^2 D_z}{3EI(1,16)}$$

$$Y_{D2} = \frac{0,020 D_z}{EI}$$

$$Y_D = 0$$

$$Y_D = Y_{D1} + Y_{D2} = - \frac{63,2}{EI} + \frac{0,020 D_z}{EI} = 0$$

$D_z = 3160\text{N}$: y reemplazando en las ecuaciones de equilibrio obtenemos las otras incognitas.

$$E_z = -56\text{N}$$

$$C_z = 5895,2 + 56 - 3160$$

$$C_z = 2791,2\text{N}$$

$$M_{\text{máx}xz} = 432,64\text{N.m} = 432640\text{ N.mm}$$

$$M_{\text{máx}} = \sqrt{(797600)^2 + (432640)^2}$$

$$M_{\text{máx}} = 907382,6\text{ N.mm}$$

Usando la teoría de la energía de distorsión

$$d_2 = \left(\frac{32ns}{\pi S_y} \sqrt{M^2 + \frac{3}{4}T^2}\right)^{1/3}$$

$$d_2 = \left(\frac{32(3)}{\pi(390)} \sqrt{(907382,6)^2 + \frac{3}{4}(464247)^2}\right)^{1/3}$$

$$d_2 = 42,7\text{mm} \rightarrow d_2 \approx 43\text{mm}$$

Usando la teoría del esfuerzo máximo cortante

$$d_2 = \left(\frac{32ns}{\pi S_y} \sqrt{M^2 + T^2}\right)^{1/3}$$

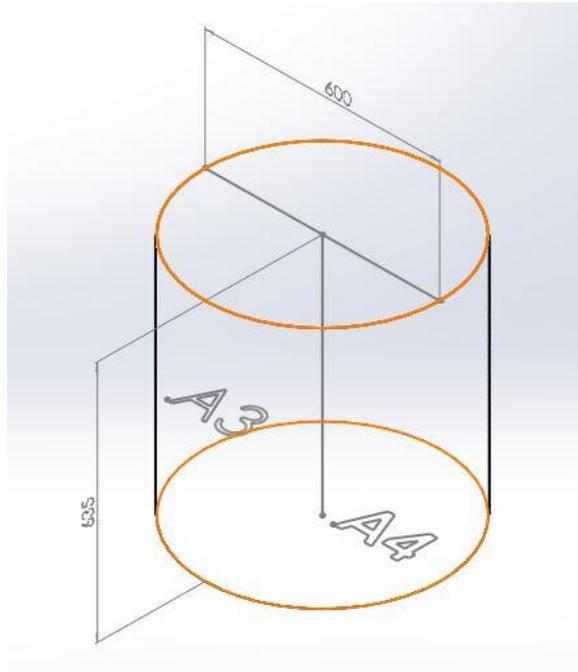
$$d_2 = \left(\frac{32(3)}{\pi(390)} \sqrt{(907382,6)^2 + (464247)^2}\right)^{1/3}$$

$$d_2 = 43,1\text{mm} \rightarrow d_2 \approx 44\text{mm}$$

Calculo del centro de masa.

Cubierta chapa metálica.

Ilustración 24. Cubierta chapa metálica.



Fuente: autores del proyecto.

Del libro mecánica vectorial para ingenieros de BEER & JOHNSTONS, usamos la ecuación para hallar el centro de masa del cuerpo del horno.

Donde:

Y= centro de masa

v = volumen

Por simetría X = Z = 0

$$Y = \frac{\int y P d v}{\int P d v} = \frac{\int y d v}{\int d v} = \frac{\int y (\pi r^2) dy}{\int \pi r^2 dy} = \frac{\pi r^2 \int y dy}{\pi r^2 \int dy}$$

$$Y = \frac{\int y dy}{\int_0^h dy} = \frac{y^2/2 \Big|_0^h}{y \Big|_0^h} = \frac{h^2/2}{h} = \frac{h^2}{2h} = \frac{h}{2}$$

$$Y = \frac{560 \text{ mm}}{2} \rightarrow y = 280 \text{ mm}$$

$$v = v_{r2} - v_{r1}$$

$$v = \pi h (r_2)^2 - \pi h (r_1)^2$$

$$v = \pi(0,560)(0,3)^2 - \pi(0,560)(0,2952)^2$$

$$v = 5,026 \times 10^{-3} \text{ m}^3.$$

Ahora calculamos la masa por medio de la ecuación de densidad.

Donde:

ρ = densidad

m= masa

v = volumen

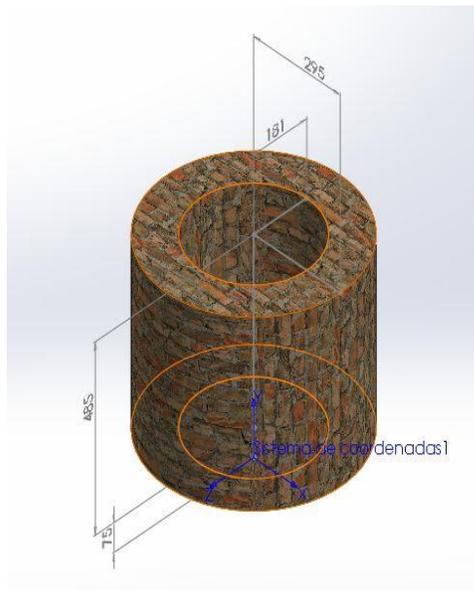
$$= \rho_{\text{acero}} v = 7800 \text{ Kg/m}^3 \text{ (tomado de: } \text{http://www.ericca.es/web/aislamiento-termico/)}$$

$$\rho_{\text{acero}} = m/v \rightarrow m = \rho_{\text{acero}} v = 7800 \text{ Kg/m}^3 * 5,026 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m = 39.2 \text{ Kg}$$

Cilindro de ladrillos refractario.

Ilustración 25. Cilindro de ladrillos refractario.



Fuente: autores del proyecto.

$$\rho_{\text{refractario}} = 1,9 \text{ g/cm}^3 \frac{(100 \text{ cm})^3 1 \text{ Kg}}{(1 \text{ m})^3 1000 \text{ g}} = 1900 \text{ Kg/m}^3.$$

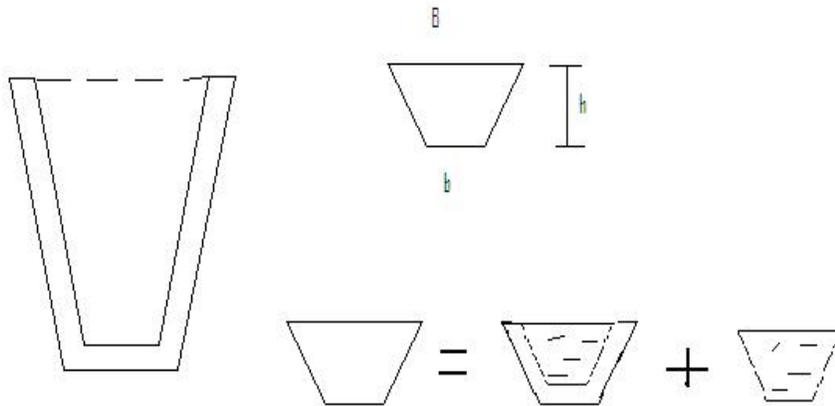
Por simetría $X = Z = 0$

$$Y = 75 + \underline{485} \rightarrow Y = 317,5\text{mm}$$

$$m = 1900\text{Kg/m}^3 * 0,182\text{m}^3 \rightarrow m = 344,5\text{Kg}$$

Crisol (lo asumimos como un cilindro recto).

Ilustración 26. Crisol



Fuente: autores del proyecto.

Asumimos la forma del crisol como un trapecio, por lo tanto, usamos la fórmula de área para un trapecio del libro mecánica vectorial para ingenieros de BEER & JOHNSTONS.

$A = \frac{(B+b) h}{2}$, donde;

A = area

B = base mayor

b = base menor

$$A = \frac{(0,26 + 0,175)(0,35)}{2}$$

$$A_I = 0,076125\text{m}^2$$

$$Y_I = \frac{h(2B+b)}{3(B+b)} = \frac{0,35(2(0,26) + 0,175)}{3(0,26+0,175)}$$

$$Y_I = \frac{0,24325}{1,305} = 0,1864\text{m} + 0,175$$

$$Y_I = 0,3614\text{m}$$

$$A_{II} = \frac{(0,2032 + 0,117)(0,32)}{2} \rightarrow A_{II} = 0,051232\text{m}^2$$

$$Y_{II} = \frac{0,32 [2(0,2032 + 0,117)]}{3(0,2032 + 0,117)} \rightarrow Y_{II} = 0,21333 + 0,205$$

$$Y_{II} = 0,41833\text{m}$$

Fig.	A	Y	AY
I	0,076125	0,3614	0,0275
II	-0,051232	0,41833	-0,02143
	$\Sigma A = 0,025$		$\Sigma AY = 0,00607\text{m}^2$

Ver ilustración 27 crisol

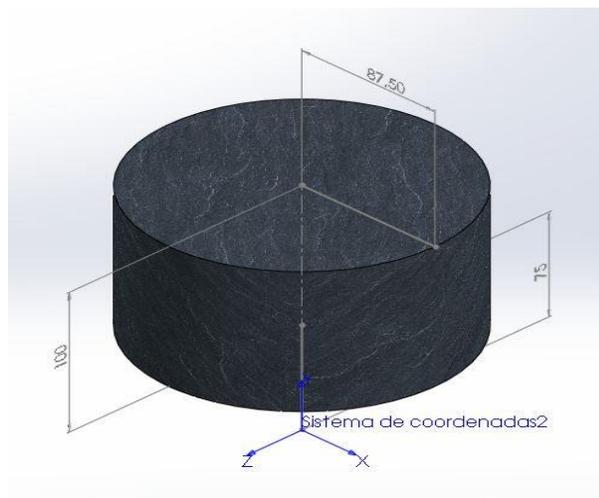
$$Y = \frac{0,00607}{0,025}$$

$$Y = 0,243\text{m}$$

$$m = 25\text{Kg}$$

Base crisol.

Ilustración 27. Base crisol.



Fuente: autores del proyecto.
 $\rho_{\text{prefractario}} = 1900\text{Kg/m}^3$

$$Y = 75 + \frac{100}{2}$$

$$Y = 125\text{mm}$$

$$v = \pi (0,1)(0,0875)^2 \rightarrow v = 2,405 \times 10^{-3} \text{m}^3$$

$$m = \rho_{\text{refractario}} \cdot v = 1900 \text{kg/m}^3 * 2,405 \times 10^{-3} \text{m}^3 \rightarrow m = 4,57 \text{Kg}$$

Base ladrillo refractario

$$Y = 4,763 + \frac{75}{2}$$

$$Y = 42,263 \text{mm}$$

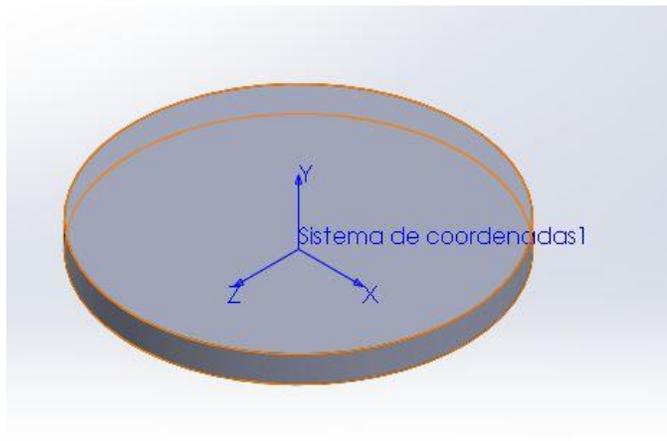
$$v = \pi (0,075) (0,2952)^2 \rightarrow v = 0,021 \text{m}^3$$

$$m = \rho_{\text{refrac}} \cdot v$$

$$m = 1900 \text{kg/m}^3 * 0,021 \text{m}^3 \rightarrow m = 39 \text{Kg}$$

Base metálica (fondo cubierta).

Ilustración 28. Base metálica (fondo cubierta).



Fuente: autores del proyecto.

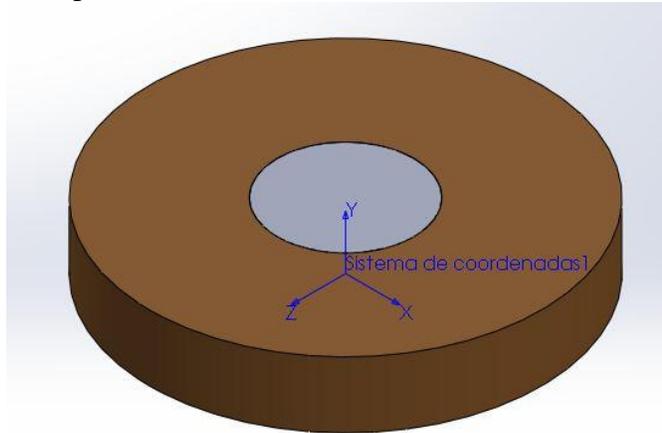
$$Y = \frac{h}{2} = \frac{4,763 \text{mm}}{2} \rightarrow Y = 2,381 \text{mm}$$

$$v = \pi (0,004863) (0,3)^2 \rightarrow v = 1,347 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$m = 7800 \text{kg/m}^3 * 1,347 \times 10^{-3} \text{m}^3 \rightarrow m = 10,5 \text{Kg}$$

Tapa chapa metálica.

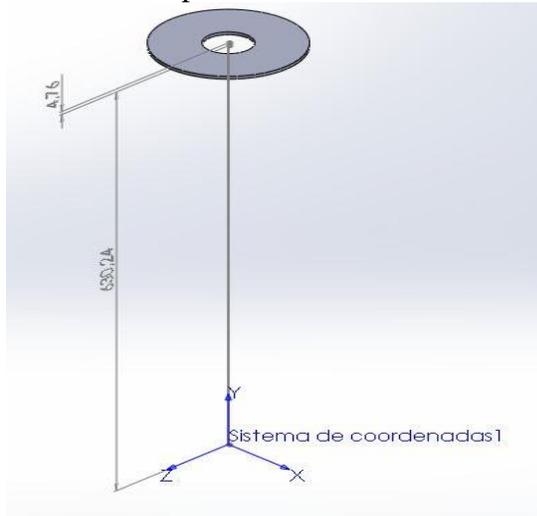
Ilustración 29. Tapa chapa metálica.



Fuente: autores del proyecto.

Parte de arriba de la tapa.

Ilustración 30. Parte de arriba de la tapa



Fuente: autores del proyecto.

$$Y = 630,24 + \frac{4,763}{2}$$

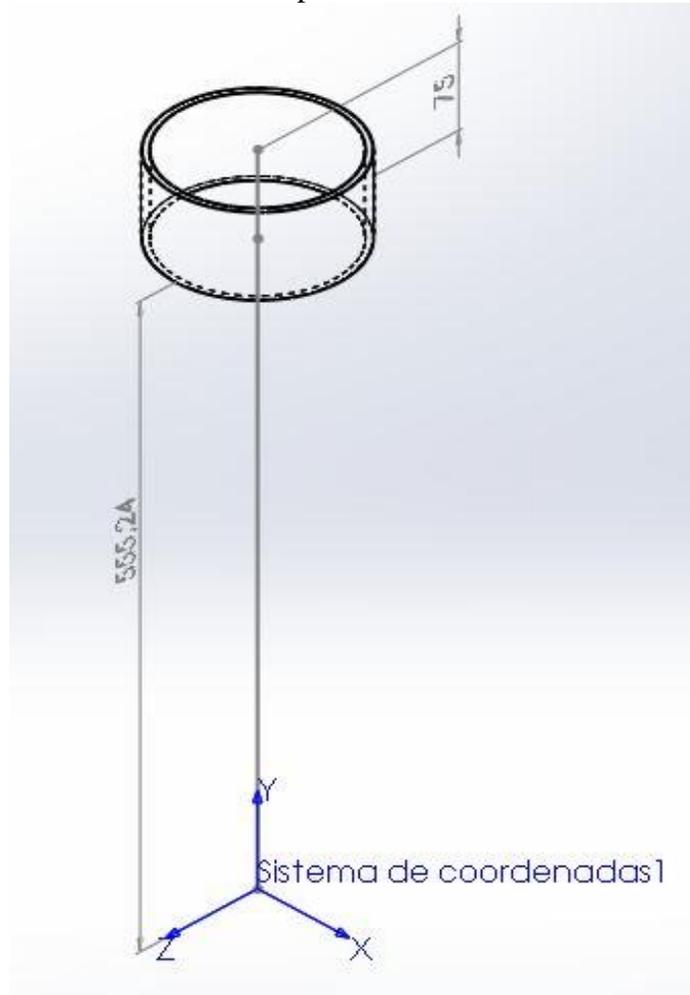
$$Y = 632,62\text{mm}$$

$$v = 1,347 \times 10^{-3} - \pi (0,004763)(0,075)^2 \rightarrow v = 1,263\text{m}^3$$

$$m = 7800\text{kg/m}^3 * 1,263\text{m}^3 \rightarrow m = 9,85\text{Kg}$$

Parte de los lados de la tapa.

Ilustración 31. Parte de los lados de la tapa.



Fuente: autores del proyecto.

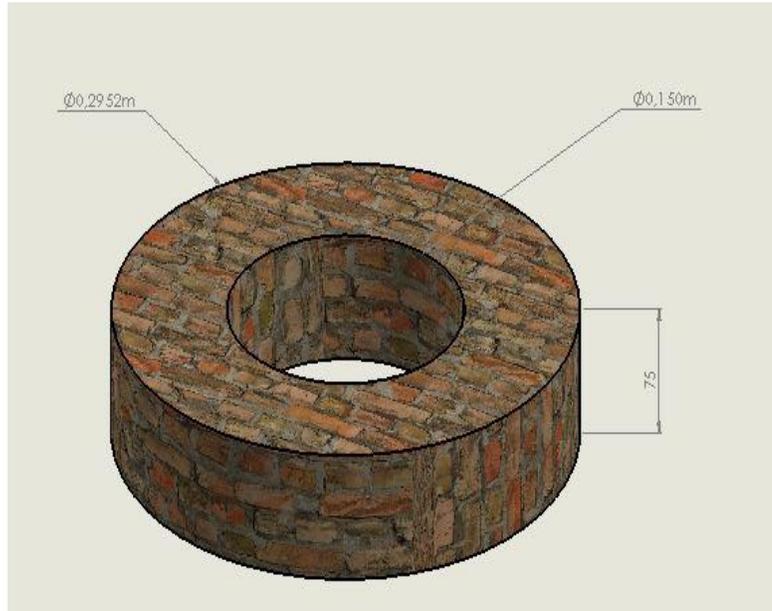
$$Y = 555,24 + \frac{75}{2} \quad Y = 592,74\text{mm}$$

$$v = \pi (0,075) (0,3^2 - 0,2952^2) \rightarrow v = 6,73 \times 10^{-4}\text{m}^3$$

$$m = 7800\text{kg/m}^3 * 6,73 \times 10^{-4}\text{m}^3 \rightarrow m = 5,25\text{Kg}$$

Tapa ladrillo refractario.

Ilustración 32. Tapa ladrillo refractario.



Fuente: autores del proyecto.

$$Y = 560 + \frac{75}{2}$$

$$Y = 597,5\text{mm}$$

$$v = \pi (0,075)(0,2952^2 - 0,075^2) \rightarrow v = 0,0192\text{m}^3$$

$$l = m/v \rightarrow m = lv = 1900\text{kg/m}^3 * 0,0192\text{m}^3$$

$$m = 36,5\text{Kg}$$

Fundente o colada. Fuente: autores del proyecto.

Para el fundente o colada el centro de masa Y es igual a el centro de masa Y_{II} de la figura II del crisol.

$$Y = 0,041833\text{m}$$

$$m = 19\text{Kg}$$

Tabla 5. Masas y centros de masa calculados

Fig.	m (Kg)	Y (m)	mY(Kg.m)
1. Cilindro chapa metálica	39,2	0,280	10,976
2. Cilindro ladrillos	344,5	0,3175	109,379
3. Crisol	25	0,243	6,075
4. Base crisol	4,57	0,125	0,571
5. Base ladrillo refractaria	39	0,04226	1,65
6. Base metálica	10,5	0,00238	0,025
7a. Tapa metálica	9,85	0,63262	6,23
7b. Tapa metálica	5,25	0,5927	3,11
8. Tapa ladrillo refractario	36,5	0,5975	21,81
9. Fundente o colada	19	0,041833	0,795

Fuente: autores del proyecto.

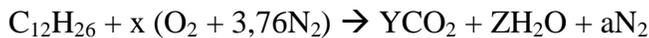
$$\Sigma = 533,3\text{Kg} \quad \Sigma mY = 160,62\text{Kg.m}$$

$$Y = \frac{\Sigma Ym}{\Sigma M} = \frac{169,15\text{Kg.m}}{533,37\text{Kg}} \rightarrow Y = 0,301\text{m} = 30,1\text{cm}$$

Este resultado quiere decir que los ejes que van a sostener el cuerpo del horno deben estar ubicados estrictamente a 30,1 cm de la base del mismo.

4.2.5 Combustión. Como se deja quemar ACPM (diesel), la ecuación química de este proceso queda:

diesel: $C_{12}H_{26}$



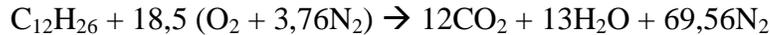
$(O_2 + 3,76N_2)$: Representa la composición de aire seco que contiene un Kmól de O_2 y Za ; donde las variables representan los números de moles desconocidos en los gases de los productos.

$$C: \quad 12 = Y \rightarrow Y = 12$$

$$H: \quad 26 = 2Z \rightarrow Z = 13$$

$$O: \quad 2X = 2Y + Z \rightarrow X = 18,5$$

$$N: \quad 2(3,76) X = 2^a \rightarrow a = 69,56$$



El coeficiente 18,5 = x, representa el número de moles de oxígeno, no el número de moles de aire. Éste se obtiene sumando $18,5 * 3,76 = 69,56$ moles de nitrógeno a los 18,5 moles de oxígeno, lo que da en total un valor de 88,06 moles de aire.

Relación de aire – combustible (AC). Se determina tomando la proporción entre la masa de aire y la masa de combustible, según la ecuación:

$$AC = \frac{m_{aire}}{m_{combustible}}$$

de tabla A11 anexo... Se obtiene la masa del aire = 29Kg/mol

$$AC = \frac{(18,5 * 4,76Kml) (29Kg/Kmol)}{(12Kmol)(12Kg/Kmol) + (13Kmol) (2Kg/Kmol)}$$

$$AC = 15,022 \text{ Kgair}/\text{Kgcombustible}$$

Lo que significa que por cada kilogramo de combustible quemado se requieren 15, 022 kilogramos de aire.⁵

4.3 CONSTRUIR EL HORNO DE CRISOL BASCULANTE PARA EL LABORATORIO DE FUNDICIÓN DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

4.3.1 Descripción del proceso de construcción. Una vez determinado el diseño de los materiales y las especificaciones de los mismos, se procedió a la construcción según los planos.

Etapas de construcción

Construcción del cilindro metálico. Para la construcción del cilindro utilizamos la plancha de acero AISI 1020 de 3/16, la cual se procedió a cortar con plasma según los planos. Posteriormente se procede a barolar para dar a la plancha una forma cilíndrica y finalmente soldar las partes.

⁵ <http://espanol.aswers.yahoo.com/question/index?qid=200101050238MBoAHO>

Foto 1. Construcción del cilindro metálico.



Fuente: Autores del proyecto.

Foto 2. Construcción de la tapa fija móvil.



Fuente: Autores del proyecto.

Construcción de la tapa fija móvil. Se realizó los el mismo procedimiento anterior del cilindro ya que la tapa resulta de los cortes de la plancha de acero y rigiéndonos según los planos.

Foto 3. Construcción de la bancada del horno



Fuente: Autores del proyecto.

Construcción de la bancada del horno. Para la bancada se procedió a adquirir soportes en ángulos de $2\frac{1}{4}$. Se seccionó dichos ángulos según los planos y posteriormente soldamos a solape y en ángulos que varían entre 90 y 145 grados.

Foto 4. Construcción del quemador.



Fuente: Autores del proyecto.

Construcción de los ejes y volante. De acuerdo a los cálculos realizados, procedemos a la selección de los materiales. Para los ejes necesitamos un eje de acero de 2in. de diámetro, el cual se fue seccionando conforme indican los planos.. Para el volante se procedió a comprar una varilla redonda de $\frac{3}{4}$ y se le dió la forma barolando para que nos dé un volante de 55 cm. de diámetro

4.3.2 Etapas de montaje

Foto 5. Montaje del cilindro en bancada con sistema basculante



Fuente: Autores del proyecto.

Para el montaje se procedió a colocar las chumaceras en la bancada, posteriormente con la ayuda de un gato hidráulico logramos levantar la estructura cilíndrica y así poder incrustar los ejes, colocando refuerzos en la unión del eje y del cilindro. .

Foto 6. Montaje de pared refractaria



Fuente: Autores del proyecto.

Para el montaje de la pared refractaria requerimos hacer un cálculo para obtener una cantidad aproximada del número de ladrillos a utilizarse; dicho cálculo se realizó AUTOCAD. Con la ayuda del mortero fragüado aL aire procedimos a colocar la mezcla en las uniones del ladrillo. Es importante recalcar que no existe pegamento que una el cilindro metálico con los ladrillos refractarios, por lo que es de suma importancia que los ladrillos queden bien compactados y con la ayuda del mortero evitar pérdidas de calor.

Foto 7. Montaje del crisol



Fuente: Autores del proyecto.

Una vez colocada la pared refractaria y con la ayuda de ladrillos refractarios se construye la base del crisol. Se construye un canal para la descarga utilizando como base un ladrillo recto refractario junto con la mezcla antes indicada, sirviendo también como soporte para asegurar el crisol.

Foto 8. Montaje de la tapa fija móvil en el cilindro



Fuente: Autores del proyecto.

Para la colocación de la tapa es necesaria una pared refractaria logrando un adecuado aislamiento para la misma.

5. CONCLUSIONES

Luego de planteada la propuesta y aceptada por el comité curricular y los jurados asignados por ésta para su evaluación, se dio cumplimiento a los objetivos específicos, los cuales concluyen en:

Se identificaron los diferentes tipos de hornos para la fundición de materiales, siendo éstos: Horno pozo, Hornos Bale-out, Hornos Basculantes, Horno de crisol inmerso, Horno rotativo de crisol. De éstos el elegido para construir por parte de los autores del proyecto, fue el horno de crisol basculante, el cual se adaptaba a las características necesarias para la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

El horno de fundición citado en las pruebas de puesta a punto es el resultado, de investigación calculo y ejecución planteada en los capítulos anteriores, una vez logrado su funcionamiento se logró reiterar la concordancia entre el diseño y el funcionamiento del equipo.

Uno de los principales inconvenientes, de la evaluación teórica fue la ausencia de equipos, especializados, para tales propósitos, pero que con ayuda de estudios secundarios, se logró suplir y lograr igual resultados veraces.

Se realizaron los cálculos pertinentes para el diseño de elementos, con lo que se procedió a la selección de materiales de alta calidad; garantizando así una larga vida útil del mismo.

La diferencia de diámetros entre la cámara de combustión, y las paredes del crisol, cumplieron con los parámetros de diseño recomendado por los expertos en el área, todo esto con el fin de que la combustión fuera optima y se permitiera un flujo turbulento, que propicie la uniformidad de temperatura en el horno.

Se logró construir el horno de crisol basculante para el laboratorio de fundición de la Universidad de Paula Santander Ocaña, el cual al ser funcional brinda seguridad al operario.

6. RECOMENDACIONES

Verificar las temperaturas con una cámara termográfica, Para tener idea de cómo se va expandiendo el calor por todo el horno.

Hacer un análisis elemental de los gases de combustión, para identificar los porcentajes que estos emanan al medio ambiente, que se produce de la quema del ACPM.

Implementar un mecanismo que remplace el volteo manual del horno, haciendolo más ergonómico y seguro.

Programar un apagado adecuado del horno, cada vez que se realice una fundición, para conservar la textura de los ladrillos refractarios.

BIBLIOGRAFÍA

BEER & JHONSTON. Diseño de Elementos Mecánicos.

_____. Mecánica vectorial para ingenieros.

CENGEL A; Termodinámica; Editorial McGraw Hill; Sexta edición

MOTT. Diseño de Elementos Mecánicos.

SHIGLEY J. Diseño de Elementos Mecánicos. Sexta Edición.

Calderón Narváez, Carolina del Carmen y FUENTES ALCOBA, Nataly Carolina. Tesis diseñar un taller de fundición de aleaciones de aluminio, partiendo de las estructuras existentes del taller artesanal ALUMNOR C.A.

SALTOS OLALLA, José Fernando y VARGAS CARRILLO, Juan José. Tesis, diseño y construcción de un horno de crisol basculante, calentado por combustible para la fundición de aluminio.

REFERENCIAS DOCUMENTALES ELECTRÓNICAS

<http://espanol.answers.yahoo.com/question/index?qid=200101050238MBoAHO>

<http://translate.google.com.co/translate?hl=es&langpair=en%7Ces&u=http://www.budgetcastingsupply.com/Crucibles.php>

<http://www.ce-fire.com/Crisoles.html>

<http://www.encolombia.com/medioambiente/hume-decreto094895-1.htm>

http://www.escuelaing.edu.co/programas/ing_industrial/laboratorios/PIND/fundicion.pdf

<http://www.eric.es/web/aislamiento-termico/>

http://www.venalum.com.ve/Materias_Primas/Paginas/Ladrillos_refractarios.htm

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/otros/fusion/fusion.ht>

http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/tb01_calor.php

<https://www.google.com.co/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=temperatura+fusion+del+aluminio>

ANEXOS

Anexo A. Evidencia fotográfica



Anexo B. Tabla de Calor.

Material	Específico (C _e)		Fusión (I _f)	Vaporización (I _v)
	Kcal/kg.°C	kJ/kg.K	kJ/kg	kJ/kg
Aceite de Oliva	0,400	1,675	-	-
Acero	0,110	0,460	205	-
Agua	1,000	4,183	335	2250
Alcohol	0,600	2,513	-	880
Alpaca	0,095	0,398	-	-
Aluminio	0,217	0,909	377	-
Antimonio	0,050	0,210	164	-
Azufre	0,179	0,750	38	-
Bronce	0,086	0,360	-	-
Cadmio	0,056	0,234	46	-
Carbón Mineral	0,310	1,300	-	-
Carbón Vegetal	0,201	0,840	-	-
Cinc	0,093	0,389	117	-
Cobalto	0,104	0,435	243	-
Cobre	0,093	0,389	172	-
Cromo	0,108	0,452	59	-
Estaño	0,060	0,250	113	-
Eter etílico	0,540	2,261	113	-
Fenol	-	-	109	-
Glicerina	0,580	2,430	176	-
Hierro	0,113	0,473	-	-
Ladrillo Refractario	0,210	0,880	-	-
Latón	0,094	0,394	168	-
Manganeso	0,110	0,460	155	-
Mercurio	0,033	0,138	11,7	281
Mica	0,210	0,880	-	-
Naftalina	-	-	151	-
Níquel	0,110	0,461	234	-
Oro	0,031	0,130	67	-
Parafina	0,778	3,260	147	-
Plata	0,056	0,235	109	-
Platino	0,031	0,130	113	-
Plomo	0,031	0,130	23	-
Potasio	0,019	0,080	59	-
Tolueno	0,380	1,590	-	365
Vidrio	0,200	0,838	-	-

Anexo C. Tabla de apéndices

870
APÉNDICE 2

TABLA A-11

Masa molar, gas constante y calores específicos de ciertas sustancias

Sustancia	Masa molar, M , lbm/lbmol	Gas constante R^*		Calores específicos a 77°F		
		Btu/ lbm · R	psia · ft ³ / lbm · R	c_p , Btu/lbm · R	c_v , Btu/lbm · R	$k = c_p/c_v$
Aire	28.97	0.06855	0.3704	0.2400	0.1715	1.400
Amoníaco, NH ₃	17.03	0.1166	0.6301	0.4999	0.3834	1.304
Argón, Ar	39.95	0.04970	0.2686	0.1243	0.07457	1.667
Bromo, Br ₂	159.81	0.01242	0.06714	0.0538	0.04137	1.300
Isobutano, C ₄ H ₁₀	58.12	0.03415	0.1846	0.3972	0.3631	1.094
<i>n</i> -Butano, C ₄ H ₁₀	58.12	0.03415	0.1846	0.4046	0.3705	1.092
Carbono, bióxido de, CO ₂	44.01	0.04512	0.2438	0.2016	0.1564	1.288
Carbono, monóxido de, CO	28.01	0.07089	0.3831	0.2482	0.1772	1.400
Cloruro, Cl ₂	70.905	0.02802	0.1514	0.1142	0.08618	1.325
Clorodifluorometano (R-22), CHClF ₂	86.47	0.02297	0.1241	0.1552	0.1322	1.174
Etano, C ₂ H ₆	30.070	0.06604	0.3569	0.4166	0.3506	1.188
Etileno, C ₂ H ₄	28.054	0.07079	0.3826	0.3647	0.2940	1.241
Fluoruro, F ₂	38.00	0.05224	0.2823	0.1967	0.1445	1.362
Helio, He	4.003	0.4961	2.681	1.2403	0.7442	1.667
<i>n</i> -Heptano, C ₇ H ₁₆	100.20	0.01982	0.1071	0.3939	0.3740	1.053
<i>n</i> -Hexano, C ₆ H ₁₄	86.18	0.02304	0.1245	0.3951	0.3721	1.062
Hidrógeno, H ₂	2.016	0.9850	5.323	3.416	2.431	1.405
Kriptón, Kr	83.80	0.02370	0.1281	0.05923	0.03554	1.667
Metano, CH ₄	16.04	0.1238	0.6688	0.5317	0.4080	1.303
Neón, Ne	20.183	0.09838	0.5316	0.2460	0.1476	1.667
Nitrógeno, N ₂	28.01	0.07089	0.3831	0.2484	0.1774	1.400
Óxido nítrico, NO	30.006	0.06618	0.3577	0.2387	0.1725	1.384
Nitrógeno, bióxido de, NO ₂	46.006	0.04512	0.2438	0.1925	0.1474	1.306
Oxígeno, O ₂	32.00	0.06205	0.3353	0.2193	0.1572	1.395
<i>n</i> -Pentano, C ₅ H ₁₂	72.15	0.02752	0.1487	0.3974	0.3700	1.074
Propano, C ₃ H ₈	44.097	0.04502	0.2433	0.3986	0.3535	1.127
Propileno, C ₃ H ₆	42.08	0.04720	0.2550	0.3657	0.3184	1.148
Agua, H ₂ O	18.015	0.1102	0.5957	0.4455	0.3351	1.329
Sulfuro dióxido de, SO ₂	64.06	0.03100	0.1675	0.1488	0.1178	1.263
Tetraclorometano, CCl ₄	153.82	0.01291	0.06976	0.1293	0.1164	1.111
Tetrafluoroetano (R-134a), C ₂ H ₂ F ₄	102.03	0.01946	0.1052	0.1991	0.1796	1.108
Trifluoroetano (R-143a), C ₂ H ₃ F ₃	84.04	0.02363	0.1277	0.2219	0.1983	1.119
Xenón, Xe	131.30	0.01512	0.08173	0.03781	0.02269	1.667

*El gas constante se calculó de $R = R_u/M$, donde $R_u = 1.9859$ Btu/lbmol · R = 10.732 psia · ft³/lbmol · R es el gas universal y M es la masa molar.

Anexo D. Tabla de densidades

TABLA DE DENSIDADES		
SÓLIDOS g/cm^3 $T = 20^{\circ}C$	Acero	7,8
	Aluminio	2,7
	Cobre	8,9
	Corcho	0,25
	Cuerpo humano	1,07
	Hielo	0,92
	Hierro	7,9
	Madera	0,2 – 0,8
	Mármol	2,7
	Plomo	11,3
	Tierra	1,2
	Vidrio	3,0 – 3,6
LÍQUIDOS g/cm^3 $T = 20^{\circ}C$	Acetona	0,79
	Aceite	0,92
	Ácido sulfúrico	1,82
	Agua de mar	1,025
	Agua destilada	1
	Alcohol etílico	0,79
	Gasolina	0,68
	Glicerina	1,26
	Leche	1,03
	Mercurio	13,6
GASES g/cm^3 $T = 0^{\circ}C$ $p = 1 atm$	Butano	0,0026
	Dióxido de carbono	0,0018
	Aire	0,0013
	Hidrógeno	0,00084

Anexo E. Ladrillos refractarios

ESPECIFICACIONES TECNICAS:

1. Dimensiones:

Longitud: 230 +/-2 mm.

Ancho: 114 +/-1,5 mm.

Altura: 64 +/-1 mm (ladrillos tipo 64) y 76 +/-1 mm (ladrillos tipo 76).

2. Composición química:

SiO₂ (Oxido de Silicio) (%) : 75,0 MÍN.

Al₂O₃ (Oxido de Aluminio) (%) : 18,0 MÍN.

TiO₂ (Oxido de Titanio) (%) : 1,3 MÁX.

Fe₂O₃ (Oxido Férrico) (%) : 1,8 MÁX.

CaO+MgO+Na₂O+K₂O (Alkalis)(%) : 3,0 MÁX.

3. Propiedades físicas:

Densidad Aparente (g/cm³) : 1,9

Porosidad aparente (%) : 22,0 MÁX.

Resistencia a la Compresión en Frío (N/mm²) : 20,0 MÍN.

Resistencia a la Compresión (N/mm²) bajo carga a 1300 °C : 2,0 MÍN.

Refractariedad (%) : 28,0 MÍN.

Expansión Reversible A 1000 °C (%) : 0,7 MÍN.

Conductividad	Térmica	(W/Mk)	a:
400	°C	:	0,99.
600	°C	:	1,07.
800	°C	:	1,15.
1000 °C			1,23.

Anexo F. Mínimos y máximos notables

Material	λ Conductividad Térmica	Calor Específico	Densidad
	W/(K·m) 23°C	J/(kg·K) 25°C	Kg/m ³
Acero	50	450	7500
Acero inoxidable	17	460	7900
Agua	0.58	4186	1000
Aluminio	237	909	2700
Baquelita	0.24	900	1270
Bronce	116-186	360	8700
Carbono	129	710	2267
Caucho Celular	0.06	1500	130
Caucho de Silicona	0.24	1300-1500	1100
Caucho EPDM Etileno Propileno	0.25	1000	1150
Caucho Natural	0.13	1100	910
Caucho Policloropreno Neopreno®	0.23	2140	1300
Cobre	380	389	8900
Corcho	0.04	1880	120
Diamante	2300	509	3513
Etanol	0.013	1520	789
Fibra de vidrio	0.04	795	220
Filtro lana	0.06	1300	200
Grafito	129	710	2260
Hidrógeno	0.182	14300	0.0898
Hielo	2.2	2090	917
Hierro	80	473	7870
Inconel® 625	9.8	410	8440
Latón	120	394	8400
Litio	301.2	360	530
Madera	0.04-0.4	1381	840
Mármol	2.09	879	2800
Mercurio	8.34	140	13579
Mica	0.52	880	2900
Niquel	90	460	8900
Nitrógeno	0.026	1040	1.25
Oro	317	128	19300
Oxígeno	0.026	920	1.429
PA6 Poliamida	0.24-0.28	1700	1150
Para-aramida Kevlar®	0.04	1400	1440
PC Policarbonato	0.19-0.22	1200	1200
PEHD Polietileno alta densidad	0.5	1800	980
PELD Polietileno baja densidad	0.33	2200	920
Plata	429	232	10490
Platino	71.6	130	21450
Plomo	35.3	129	11340
PMMA Metacrilato	0.18	1500	1180
Poliuretano en espuma	0.029	1674	40
POM Poliacetal	0.22-0.24	1500	1420
PP Polipropileno	0.12	1800	960
PS Poliestireno	0.16	1300	1050
PTFE Politetrafluoretileno	0.25	1050	2200
PVC Cloruro de polivinilo	0.17	900	1390
PVDF Polifluoruro de Vinilideno	0.1-0.25	80-140	1770
Sodio	141	1230	968
Titanio	21.9	522	4500
Uranio	27.6	120	19050
Vermiculita expandida	0.07	837	100
Vidrio	0.81-1	833	2700
Cinc	116	390	7140

Los mínimos y máximos notables se muestran en negrita.

Anexo G. Deflexiones y pendientes de vigas

762

Apéndice D. Deflexiones y pendientes de vigas

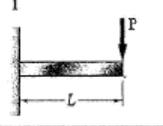
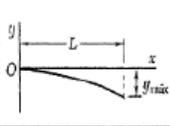
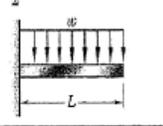
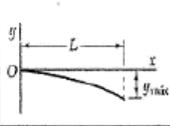
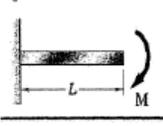
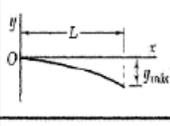
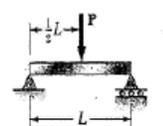
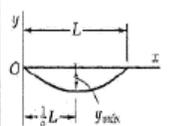
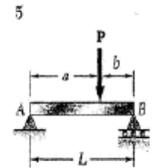
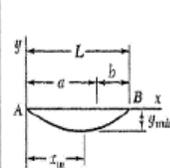
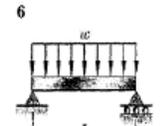
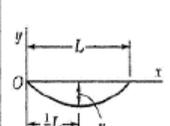
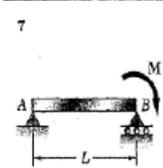
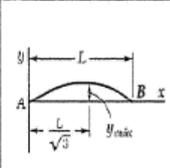
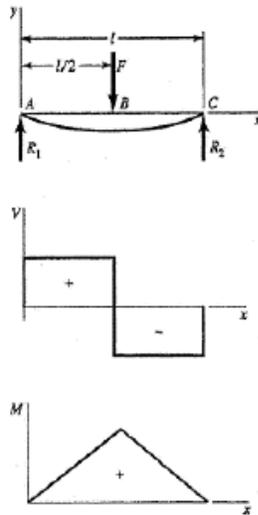
Viga y carga	Curva elástica	Deflexión máxima	Pendiente en el extremo	Ecuación de la curva elástica
		$-\frac{PL^3}{3EI}$	$-\frac{PL^2}{2EI}$	$y = \frac{P}{6EI}(x^3 - 3Lx^2)$
		$-\frac{wL^4}{8EI}$	$-\frac{wL^3}{6EI}$	$y = -\frac{w}{24EI}(x^4 - 4Lx^3 + 6L^2x^2)$
		$-\frac{ML^2}{2EI}$	$-\frac{ML}{EI}$	$y = -\frac{M}{2EI}x^2$
		$-\frac{PL^3}{48EI}$	$\pm \frac{PL^2}{16EI}$	Para $x \leq \frac{1}{2}L$: $y = \frac{P}{48EI}(4x^3 - 3L^2x)$
		Para $a > b$: $-\frac{Pb(L^2 - b^2)^{3/2}}{9\sqrt{3}EIL}$ con $x_m = \sqrt{\frac{L^2 - b^2}{3}}$	$\theta_A = -\frac{Pb(L^2 - b^2)}{6EIL}$ $\theta_B = +\frac{Pa(L^2 - a^2)}{6EIL}$	Para $x < a$: $y = \frac{Pb}{6EIL}[x^3 - (L^2 - b^2)x]$ Para $x = a$: $y = -\frac{Pa^2b^2}{3EIL}$
		$-\frac{5wL^4}{384EI}$	$\pm \frac{wL^3}{24EI}$	$y = -\frac{w}{24EI}(x^4 - 2Lx^3 + L^3x)$
		$\frac{ML^2}{9\sqrt{3}EI}$	$\theta_A = +\frac{ML}{6EI}$ $\theta_B = -\frac{ML}{3EI}$	$y = -\frac{M}{6EIL}(x^3 - L^2x)$

Tabla E-9

Cortante, momento y deflexión de vigas (continuación)

5 Apoyos simples: carga central



$$R_1 = R_2 = \frac{F}{2} \quad V_{AB} = R_1$$

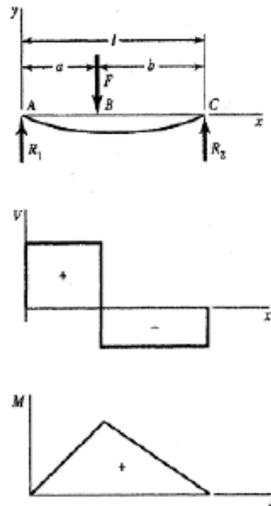
$$V_{AB} = R_1 \quad V_{BC} = -R_2$$

$$M_{AB} = \frac{Fx}{2} \quad M_{BC} = \frac{F}{2}(l-x)$$

$$y_{AB} = \frac{Fx}{48EI}(4x^2 - 3l^2)$$

$$y_{\max} = -\frac{Fl^3}{48EI}$$

6 Apoyos simples: carga intermedia, $a < b$



$$R_1 = \frac{Fb}{l} \quad R_2 = \frac{Fa}{l}$$

$$V_{AB} = R_1 \quad V_{BC} = -R_2$$

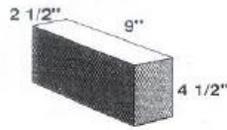
$$M_{AB} = \frac{Fbx}{l} \quad M_{BC} = \frac{Fa}{l}(l-x)$$

$$y_{AB} = \frac{Fbx}{6EI}(x^2 + b^2 - l^2)$$

$$y_{BC} = \frac{Fa(l-x)}{6EI}(x^2 + a^2 - 2lx)$$

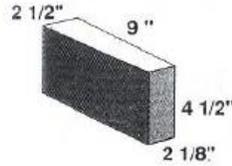
FORMAS NORMALES

SERIE 9 x 4 1/2 x 2 1/2" (229 x 114 x 64 mm.)



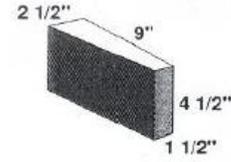
RECTO

9 x 4 1/2 x 2 1/2"
229 x 114 x 64 mm.
EQUIVALENTE = 1



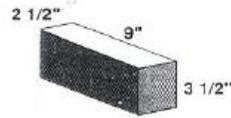
ARCO Nro. 1

9 x 4 1/2 x (2 1/2 - 2 1/8")
229 x 114 x (64 - 64) mm.
EQUIVALENTE = 0.93



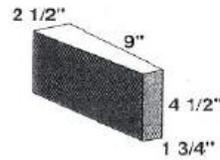
CUÑA Nro. 2

9 x 4 1/2 x (2 1/2 - 1 1/2")
229 x 114 x (64 - 38) mm.
EQUIVALENTE = 0.80



RECTO PEQUEÑO

9 x 3 1/2 x 2 1/2"
229 x 89 x 64 mm.
EQUIVALENTE = 0.78



ARCO Nro. 2

9 x 4 1/2 x (2 1/2 - 1 3/4")
229 x 114 x (64 - 45) mm.
EQUIVALENTE = 0.85



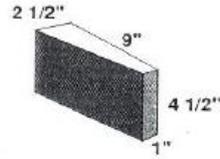
LLAVE Nro. 1

9 x (4 1/2 - 4) x 2 1/2"
229 x (114 x 102) x 64 mm.
EQUIVALENTE = 0.94



JABON

9 x 2 1/4 x 2 1/2"
229 x 57 x 64 mm.
EQUIVALENTE = 0.50



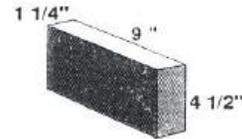
ARCO Nro. 3

9 x 4 1/2 x (2 1/2 - 1")
229 x 114 x (64 - 25) mm.
EQUIVALENTE = 0.70



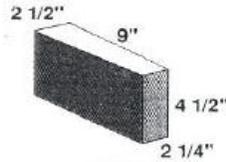
LLAVE Nro. 2

9 x (4 1/2 - 3 1/2) x 2 1/2"
229 x (114 x 89) x 64 mm.
EQUIVALENTE = 0.89



TABLETA

9 x 1 1/4 x 4 1/2"
229 x 114 x 32 mm.
EQUIVALENTE = 0.50



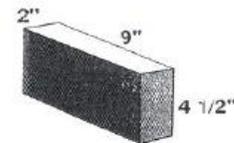
CUÑA 1X

9 x 4 1/2 x (2 1/2 - 2 1/4")
229 x 114 x (64 - 57) mm.
EQUIVALENTE = 0.95



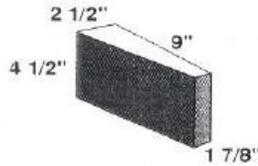
LLAVE Nro. 3

9 x (4 1/2 - 3) x 2 1/2"
229 x (114 x 76) x 64 mm.
EQUIVALENTE = 0.83



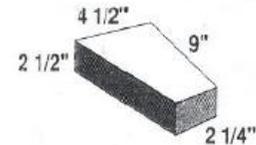
TABLETA - 2'

9 x 4 1/2 x 2"
229 x 114 x 51 mm.
EQUIVALENTE = 0.80



CUÑA Nro. 1

9 x 4 1/2 x (2 1/2 - 1 7/8")
229 x 114 x (64 - 48) mm.
EQUIVALENTE = 0.88



LLAVE Nro. 4

9 x (4 1/2 - 2 1/4) x 2 1/2"
229 x (114 x 57) x 64 mm.
EQUIVALENTE = 0.75

Anexo H. Manual uso y mantenimiento

MANUAL DE OPERACIÓN DEL HORNO.

Primero asegurarse que la cámara de combustión esté libre de elementos que interfieran con la combustión.

Observe que el crisol este alineado correctamente con el canal de salida del horno para que no hallan derrames de metal fundido.

Nótese que la tapa del horno este cerrada totalmente.

Encienda el soplete de precalentamiento para el horno e introdúzcalo dentro del agujero especialmente hecho para este propósito; se debe tener mucho cuidado ya que este funciona con gas.

Ya precalentado el horno encienda el sistema de ventilación, deje la llave de paso del aire cerrada y proceda a abrir la llave de paso de combustible en este caso ACPM.

Una vez encendido el horno abrimos la llave de paso del aire reguladamente hasta que la combustión sea la adecuada.

Encendido el equipo, espere el calentamiento en la cámara de combustión el tiempo para que esto suceda oscila entre 10 y 15 minutos.

Con el horno ya caliente preceda a llenar el crisol del material a fusionar; esto se debe hacer con unas pinzas largas que lleguen hasta el fondo del crisol.

Una vez cargado el equipo espere un tiempo no mayor a cuarenta minutos tiempo necesario para que el material entre en un cambio de estado.

Basculé el horno con la vestidura adecuada, con el fin de que la colada se haga lo más óptima posible, y los operarios no tengan opción de lesión alguna.