

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE

Previo a la obtención de título de:

INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

“ESTUDIO DE HORNOS DE FUNDICIÓN DE COBRE Y SUS ALEACIONES, PARA OPTIMIZAR MATERIA PRIMA EN EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”

Autor: Byron Orlando Chango Pilamunga

TUTOR: Ing. Mg. Segundo Espín L.

AMBATO – ECUADOR

2014

CERTIFICACIÓN

Dando cumplimiento a todos los requisitos y como director de la presente investigación estructurada de Manera Independiente por el Sr. **BYRON ORLANDO CHANGO PILAMUNGA**, siendo éste egresado de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato y previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, bajo el tema “ESTUDIO DE HORNOS DE FUNDICIÓN DE COBRE Y SUS ALEACIONES, PARA OPTIMIZAR MATERIA PRIMA EN EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”, me permito emitir la CERTIFICACIÓN del presente trabajo de investigación, el cual fue elaborado en su totalidad por el autor y ha sido concluida bajo el plan de tesis aprobado y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ambato, Abril del 2014

Ing. Mg. Segundo Espín L.

Tutor

AUTORÍA

Realizada la investigación exhaustiva bajo el tema “ESTUDIO DE HORNOS DE FUNDICIÓN DE COBRE Y SUS ALEACIONES, PARA OPTIMIZAR MATERIA PRIMA EN EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”, declaro que la misma es de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autor de la presente investigación.

Ambato, Abril 2014

Byron Orlando Chango Pilamunga

CI: 1803830957

Autor

DEDICATORIA

Bajo tu manto sagrado siempre me cobijaste

A ti bendita Virgen del Rosario de Agua Santa.

Muchas veces me sentí rendido, a punto de abandonarlo todo, muchas veces trómpese y fui al piso, pero siempre estuvieron ahí ustedes para extenderme su mano y darme todo su amor, A mis amados padres Jorge y Laura, que ven hoy su sueño hecho realidad.

Dios envió a uno de sus ángeles para que ella me guie con paciencia y amor hacia ti.,

A mi amada esposa Susana que siempre estás conmigo apoyándome, tú eres mi fuerza y mi fortaleza.

A mis amados hijos, Marisol, Cristina, Alan y Ariel, que con sus travesuras y sus alientos de cariño siempre llenan de amor mi vida.

A mis hermanos Elizabeth y Marco, que siempre han estado conmigo incondicionalmente.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Ambato en especial a la Facultad de Ingeniería civil y Mecánica, por darme la oportunidad de crecer académicamente en sus aulas.

La paciencia y la comprensión son las virtudes de los más grandes, al Ing. Mg. Segundo Espín Lagos, por indicarme el camino hacia la excelencia, por ayudarme a crecer profesionalmente, a mis profesores de carrera, Ing. Mg. Santiago Cabrera, Ing. Mg. Mauricio Carrillo, Ing. Mg. Juan Correa, por enseñarme que un profesor no solo está dentro de un aula de clases y que te prepara para ser exitoso en una carrera sino también para ser grande en tu vida.

Cuando se aspira a lograr una meta nunca lo puedes hacer solo, por ello mi eterno agradecimiento a todos mis compañeros por siempre apoyarme en las buenas y malas decisiones tomadas a lo largo de mi vida universitaria, en especial a los Sres. Fabián Medina, Daniel Paucar, Santiago Peña, Fabián Criollo, Ladislao Cuesta, y Danny Sailema.

INDICE PRELIMINAR

Página de título o portada.....	i
Aprobación del tutor	ii
Autoría	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento.....	v
Índice de contenidos.....	vi
Índice de tablas.....	xii
Índice de figuras.....	xiv
Resumen Ejecutivo	xvii

CAPITULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 TEMA.....	1
1.2 PLANTIAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2.1 Contextualización.....	1
1.2.2 Análisis Crítico.....	3
1.2.3 Prognosis.....	3
1.2.4 Formulación Del Problema.....	3
1.2.5 Interrogantes	4
1.2.6 Delimitación del objeto de investigación.....	4
1.2.6.1 Delimitaciones del contenido.....	4
1.2.6.2 Delimitación Espacial.....	4
1.2.6.3 Delimitación temporal.....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	5

1.4. OBJETIVOS.....	5
1.4.1 Objetivo General	5
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	6
2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA	6
2.3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL	6
2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES.....	7
2.4.1 Gráficos de Inclusión Interrelacionados.....	7
2.4.2 Cobre	8
2.4.2.1 Características.....	8
2.4.2.2 Propiedades Principales del Cobre Puro.....	8
2.4.2.2.1 Propiedades Físicas.	8
2.4.2.2.2 Propiedades Químicas.	9
2.4.2.2.3 Propiedades Biológicas.	9
2.4.2.2.4 Propiedades Mecánicas.	9
2.4.2.2.5 Propiedades De Soldabilidad.....	9
2.4.2.2.6 Propiedades Estéticas.	10
2.4.2.3 Aleaciones Base Cobre.....	10
2.4.2.3.1 Latón.....	10
2.4.2.3.2 Bronce.....	10
2.4.2.4 Aplicación del Cobre y sus Aleaciones.	11
2.4.3 Fundición.....	11
2.4.3.1.2 Etapas del proceso de fundición	13
2.4.3.1.2.1 Diseño del modelo.....	13
2.4.3.1.2.2 Vaciado del metal fundido.....	13
2.4.3.2 Proceso de fusión, colada y moldeo, de piezas de cobre de alta conductividad (Nº 1.614).....	14
2.4.4 Tipos de Hornos De Fundición.....	15

2.4.4.1 Hornos Eléctricos.	16
2.4.4.1.1 Horno eléctrico de arco.	16
2.4.4.1.2 Horno eléctrico de resistencias.	17
2.4.4.1.3 Ventajas de la utilización de hornos eléctricos.....	17
2.4.4.1.4 Desventajas de la utilización de hornos eléctricos.	18
2.4.4.2 Hornos De Inducción.....	18
2.4.4.2.1 Horno de inducción de alta frecuencia.	19
2.4.4.2.2 Ventajas de la utilización de hornos de inducción	20
2.4.4.2.3 Desventajas de la utilización de hornos de inducción.....	20
2.4.4.3 Hornos De Crisol.....	21
2.4.4.3.1. Horno de crisol fijo, o estacionario.	21
2.4.4.3.2. Horno de crisol fijo de fuel-oíl o gas.....	21
2.4.4.3.3. Horno de crisol basculante de .Diésel o gas, con quemador integrado ..	21
2.4.4.3.4. Formas de calentamiento de un horno de crisol.	22
2.4.4.3.5 Ventajas del uso de hornos de crisol.	23
2.4.4.3.6 Desventajas del uso de hornos de crisol	24
2.4.5 Flujo de calor por convección.	25
2.4.5 Cantidad de transferencia de calor	24
2.4.6 Materiales Refractarios y Termoaislantes	27
2.4.6.1 Propiedades de los Refractarios.....	27
2.4.6.1.1 Porosidad.	28
2.4.6.1.2 Permeabilidad respecto a los gases.....	28
2.4.6.1.3 Estabilidad térmica.	28
2.4.6.1.4 Resistencia a escorias.	28
2.4.6.2 Clasificación de refractarios.	28
2.4.6.2.1. Refractarios de chamota.	29
2.4.6.3 Materiales termoaislantes	29
2.4.7. Selección del Horno	29
2.4.7.1. Método Ordinal Corregido de Criterios Ponderados.....	31
2.4.7.2. SELECCIÓN DE COMBUSTIBLE A USAR.....	36
2.4.7.2.1 Tipos de combustible.....	36

2.5 HIPÓTESIS	40
2.6. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES	40
2.6.1 Variable Independiente.....	40
2.6.2 Variable Dependiente	40

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA.....	41
3.1 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN	41
3.1.1 Investigación de campo	41
3.1.2 Investigación bibliográfica	41
3.1.3 Investigación Experimental.....	41
3.2 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	41
3.2.2 Investigación Correlacional.....	42
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA	42
3.3.1 Población.....	42
3.3.2 Muestra.....	42
3.2.1. Investigación Descriptiva.....	42
3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	43
3.4.1 Variable Independiente:.....	43
3.4.2 Variable Dependiente	45
3.5. PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	46
3.6 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	46

CAPITULO IV

4. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS.....	47
4.1. Análisis de resultados.....	47
4.2. Interpretación de datos.	47
4.2.1 Prueba N.1.....	48
4.2.1.1 Resultados de la prueba 1.....	51
4.2.2 Prueba N.2.....	51

4.2.2.1 Resultados de la prueba 2.....	53
4.2.3 Prueba N.3.....	54
4.2.3.1 Resultados de la prueba 3.....	56
4.2.3.1.1 Ensayo de dureza.....	58
4.2.4 Prueba N.4.....	62
4.2.4.1 Resultados de la prueba 4.....	64
4.2.5. Prueba N.5.....	64
4.2.5.1 Resultados de la prueba 5.....	66
4.2.5.1.1 Ensayo de dureza.....	68
4.3. Verificación de hipótesis.....	73

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
5.1 Conclusiones.....	80
5.2 Recomendaciones.....	82

CAPITULO VI

6. Propuesta.....	84
6.1. Datos Informativos.....	84
6.2 Antecedentes De La Propuesta.....	84
6.3. Justificación.....	85
6.4. Objetivos.....	85
6.4.1. Objetivo general.....	85
6.4.2. Objetivos específicos.....	85
6.5. Análisis De Factibilidad.....	86
6.5.1. Política.....	86
6.5.2. Tecnológica.....	86
6.5.3. Organizacional.....	86
6.5.4. Económico – Financiera.....	86
6.6. Fundamentación.....	87
6.6.1. Requerimientos básicos.....	87

6.6.10.2. Energía aportada por el diésel	109
6.6.11. Estructura Metálica.....	111
6.6.11.1. Determinación de Cargas.	111
6.6.11.2 Tipos de esfuerzos.	112
6.6.11.2.1 Esfuerzo Axial.	113
6.6.11.2.2 Esfuerzo de Torsión.....	113
6.6.11.3. Dimensionamiento de las rejillas de soporte.	114
6.6.11.4. Determinación del tipo de soldadura entre el eje y el cilindro del horno.	118
6.6.2. Elementos que constituyen un horno de fundición.	87
6.6.3. Materiales utilizados para la construcción del horno.	88
6.6.4. Parámetros para el diseño térmico.....	88
6.6.5. Tamaño Del Crisol	89
6.6.5.1. Características De Los Crisoles.....	89
6.6.5.2. Selección de Crisol.....	89
6.6.5.3. Formas estándar de los crisoles que se manejan en carburo de silicio y grafito.....	89
6.6.6. Dimensionamiento de la Camara.....	90
6.6.6.1. Diámetro interno del refractario	90
6.6.6.2. Calculo del diámetro del horno.	91
6.6.7. Refractario.	92
6.6.8. Calculo de la altura del horno.....	94
6.6.8.1. Base Del Crisol.....	94
6.6.8.2. Refractario.....	94
6.6.8.3. Dimensionamiento de la Placa Base.....	96
6.6.8.4. Dimensionamiento de la coraza (hc)	97
6.6.8.5. Dimensionamiento de la tapa (ht).....	98
6.6.9. Coeficientes de transferencia de calor en el horno.....	98
6.6.9.1. Energía necesaria para fundir el metal	98
6.6.9.2. Calor en el Crisol.....	102
6.6.9.3. Calor total	103

6.6.9.4. Masa a calentarse.....	103
6.6.9.5. Cantidad de energía a utilizar en base al peso	103
6.6.9.6. Perdidas de calor por las paredes durante el funcionamiento continuo....	104
6.6.9.7. Modelo matemático de transferencia de Calor	104
6.6.9.7.1. Flujo de calor a través de las paredes cilíndricas del horno	104
6.6.9.7.2. Pérdidas	106
6.6.9.7.3. Perdidas por convección del aire a 1085 ⁰ C.....	106
6.6.9.7.4. Perdidas por conducción a través del ladrillo refractario.	106
6.6.9.7.5. Perdidas por conducción a través del cemento refractario.	107
6.6.9.7.6. Perdidas por conducción a través de la manta aislante.....	107
6.6.9.7.7. Perdidas por conducción a través de la chapa metálica.....	108
6.6.9.7.8. Perdidas por convección del aire exterior a 20 ⁰ C.	108
6.6.9.7.9. Pérdida de Calor del Sistema.....	108
6.6.9.8 Rendimiento del horno	109
6.6.9.9. Potencia	109
BIBLIOGRAFIA.	121
MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	138
PLANOS.	145

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. Cantidad de Cobre extraído mediante minería.	2
TABLA 3. Principales tipos de combustible que pueden ser usados en la operación de los hornos de crisol.....	23
TABLA 4. Valorización de criterios para la ponderación	32
TABLA 5. Evaluación de Criterios.....	33
TABLA 6. Análisis ponderado, bajo el criterio de costos de adquisición de los hornos	34
TABLA 7. Análisis ponderado bajo el criterio de menor consumo de energía utilizado por los hornos.....	34

TABLA 8. Análisis ponderado bajo el criterio de facilidad en el mantenimiento de los hornos.....	35
TABLA 9. Análisis ponderado, bajo el criterio de facilidad en el colado del material fundido.	35
TABLA 10. Análisis ponderado, bajo el criterio de la capacidad de carga del horno	36
TABLA 11. Resultados obtenidos de acuerdo a cada criterio analizado	36
TABLA 12. Tabla comparativa de energías entre el Diésel y el GLP.	38
TABLA 13.	39
Consideraciones para elección de combustible.....	39
TABLA 14. Propiedades físicas y químicas del GLP.	40
TABLA 15. Plan de recolección de información.....	47
TABLA 16. Variación del color del crisol en relación la temperatura	49
TABLA. 17. Medición de Temperaturas, tiempo y cantidad de combustible en el horno de crisol basculante de capacidad 60 Kg., con alimentación a Diésel, sin carga.	50
TABLA. 18. Medición de Temperaturas, tiempo y cantidad de combustible en el horno de crisol basculante de capacidad 60 Kg, con alimentación a Diésel, sin carga.	53
TABLA. 19. Medición de Temperaturas, tiempo y estado de la carga en el proceso de fundición en un horno crisol con capacidad de 25 Kg.	56
TABLA 20. Análisis metalográficos de la prueba 3.	58
TABLA 21. Ensayo de Dureza Brinell en probeta fundida en un horno de crisol.	59
TABLA 22. Ensayo Charpy en probeta fundida en un horno de crisol.	60
TABLA 23. Ensayo de Tracción en probeta fundida en un horno de crisol.	61
TABLA 25. Medición de Temperaturas, y tiempos de calentamiento en un horno de inducción. (Sin carga)	64
TABLA 26. Medición de Temperaturas, y tiempos en el proceso de fundición en el horno de inducción del Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.....	66

TABLA 27. Análisis metalográfico de la fundición obtenida en la prueba 5, realizada en un horno de inducción del Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.....	68
TABLA. 28. Ensayo de Dureza Brinell en probeta fundida en un horno de Inducción.	70
TABLA. 29. Ensayo de Impacto en probeta fundida en un horno de inducción de la FICM de la UTA.	71
TABLA 31. Análisis químico en probeta fundida en un horno de Inducción.	73
TABLA 32. Resultados de los ensayos realizados en los hornos de fundición de cobre y aleaciones.	75
TABLA 33. Datos obtenidos de tres tipos de fundiciones de cobre realizadas en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.	77
TABLA 34. Cálculo de la variable continua y determinación de intervalo para la estimación de nivel de las muestras.	78
TABLA 35. Intervalo para la estimación de nivel de las muestras.	78
TABLA 36. Tablas de contingencia y determinación de los valores del Chi Cuadrado	78
TABLA 37. Tabla de resumen y determinación del Chi Cuadrado (X^2).	79
TABLA 38. Ladrillo de cuña. Dimensiones y tolerancias	93
TABLA 39. Ladrillo normal o fundamental. Dimensiones y tolerancias	95
TABLA 40. Determinación de pesos de cada componente que constituyen en horno de crisol basculante.	112
TABLA 41. Peso del horno con factor de sobrecarga del 10%.	113
TABLA 42. Fórmulas correspondientes al análisis del momento torsor T, para una barra circular maciza.	118

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Red de Categorías Fundamentales	7
FIGURA 2. Dos formas de molde; (a) molde abierto, simplemente un recipiente con la forma de la parte de la fundición; y (b) molde cerrado, de forma más compleja que requiere un sistema de vaciado conectado con la cavidad.	14
FIGURA 3. Horno Eléctrico por Arco	17
FIGURA 4. Horno Eléctrico por Resistencias, Laboratorio de Materiales FICM-UTA.	18
FIGURA 5. Horno De Inducción.	19
FIGURA 6. Horno De Inducción, Laboratorio de Materiales FICM-UTA.	20
FIGURA 7. Tres tipos de hornos de crisol: (a) crisol móvil, b crisol estacionario y (c) crisol basculante o de volteo.	22
FIGURA 8. Transferencia unidimensional de calor por conducción.....	27
FIGURA 9. Efecto de la conductividad y el tiempo sobre las gradientes de temperatura de dos solidos de diferente temperatura al transmitirse el calor por conducción.	27
FIGURA 10. Curva de dispersión Temperatura Vs. Tiempo (Horno sin carga)	51
FIGURA 11. Curva de dispersión Tiempo Vs. Cantidad de Combustible (sin carga)51	
FIGURA 12. Curva de dispersión Temperatura Vs. Tiempo (sin carga).....	54
FIGURA 13Curva de dispersión Tiempo Vs. Cantidad de Combustible (sin carga) en funcionamiento continuo.....	54
FIGURA 14. Curva de dispersión Temperatura Vs. Tiempo (con carga)	57
FIGURA 15. Diagrama de equilibrio de una aleación Bronce al Aluminio	57

FIGURA 16. Curva Esfuerzo-Deformación de una aleación bronce al aluminio.....	62
FIGURA 17. Curva de dispersión Temperatura Vs. Tiempo (sin carga), realizado en el Horno De Inducción de la FICM de la UTA.....	64
FIGURA 18. Curva de dispersión Temperatura Vs. Tiempo, durante el proceso de fundición en un horno de Inducción de la FICM de la UTA.	66
FIGURA 19. Diagrama de fase Cobre Aluminio.....	69
FIGURA 20. Curva Esfuerzo-Deformación de una aleación bronce al aluminio.....	73
FIGURA 21. Especificaciones técnicas crisol A6.	91
FIGURA 22. Especificaciones técnicas crisol A6.	92
FIGURA 23. Ladrillo de cuña o de arco.	93
FIGURA 24. Ladrillo Refractario Arco N ^o 2, Marca ERECOS	94
FIGURA 25. Diámetro exterior del horno (De).....	95
FIGURA 26. Ladrillo recto normal.....	96
FIGURA 27. Ladrillo Refractario recto, Marca ERECOS	96
FIGURA 28. Diagrama de la altura total del horno Hh.	97
FIGURA 29. Diagrama de la placa base del horno Db.....	98
FIGURA 30. Dimensiones interiores de la cámara de calentamiento.	100
FIGURA 31. Contenido de Calor de los metales a diferentes temperaturas.....	102
FIGURA 32. Modelo matemático de transferencia de calor a través de una pared cilíndrica.....	106
FIGURA 33. Propiedades de los materiales con respecto a la temperatura.....	113
FIGURA 34. Análisis de esfuerzos en rejilla de soporte	115

FIGURA 35. Diagrama de esfuerzos cortantes y Momentos flexionantes en rejilla de soporte.	116
FIGURA 36. Fuerzas que actúan en la barra situada entre la chapa metálica del cilindro y el cojinete de soporte.	117
FIGURA 37. Análisis de esfuerzo a torsión en una barra circular.....	118
FIGURA 38. Análisis de esfuerzo a torsión en una barra circular.....	119

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Tema: “Estudio de hornos de fundición de cobre y sus aleaciones, para optimizar materia prima en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato”

Autor: Byron O. Chango P.

Tutor: Ing. Mg. Segundo Espín L.

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación está enfocada al estudio de hornos de fundición de cobre y sus aleaciones para optimizar materia prima en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica en la Universidad Técnica de Ambato, para la cual se toma como referencia la aleación de un Bronce al Aluminio, el mismo que se lo obtiene al fundir 90% de cobre electrolítico y 10% de aluminio electrolítico.

Se realizó la fundición de una aleación Bronce al Aluminio en un Horno de crisol Basculante con alimentación a diésel, con capacidad de 60 Kg., de la cual se utiliza alrededor 15 Kg. para obtención de muestras las cuales fueron sometidas a ensayos metalográficos, ensayo de tracción, de dureza, y análisis químico, para determinar así sus propiedades mecánicas, cuyos resultados nos manifiestan que se ha obtenido una aleación de un Bronce al Aluminio SAE 68A. Al realizar la fundición en un horno de Inducción se obtuvo similares características mecánicas que las ensayadas a las muestras fundidas en el horno de crisol.

Al final de la investigación se determina que la implementación de un horno de fundición de cobre de crisol basculante con una capacidad de capacidad de 6 Kg., se optimiza materia prima dentro del Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

CAPITULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. TEMA

ESTUDIO DE HORNOS DE FUNDICIÓN DE COBRE Y SUS ALEACIONES, PARA OPTIMIZAR MATERIA PRIMA EN EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

1.2. PLANTIAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. Contextualización.

La transformación de metales para su reutilización se la ha realizado durante muchos años mediante el proceso de fundición, consumiendo una gran cantidad de recursos, de tal manera que se ha centrado en la búsqueda de nuevas vías para optimizar el consumo total de energía en la fusión de metales.

Dentro de la fundición de metales, tenemos el proceso continuo, llamado también, proceso de manufactura de piezas específicas, el mismo que es tratado en manufactureras de gran escala, así se pueden fabricar objetos de formas que en un taller artesanal no se las podrá construir.

La extracción de cobre mediante la minería en todo el mundo en los últimos tres años alcanzó un aproximado de 16,10 millones de toneladas métricas de cobre fino, siendo un país sudamericano como Chile el mayor productor del mismo, con casi la tercera parte de la producción total.

TABLA 1.

Cantidad de Cobre extraído mediante minería.

RANGO DE PRODUCCIÓN	PAÍS	PRODUCCIÓN (mill. Ton/año)
1	Chile	5.43
2	Perú	1.230
3	China	1,200
4	Estados Unidos	1.130

Nota: Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cobre>

En el Ecuador muchos fundidores artesanales trabajan en la fundición de metales provenientes de desechos industriales, es decir con chatarra, la misma que contiene demasiadas impurezas.

Es por ello que el mercado ecuatoriano tiene un mayor índice de importación con respecto al volumen de exportaciones de metales base, lo que hace necesario mantener una continua investigación de las aleaciones y aprovechar de mejor manera los recursos disponibles.

La industria metalúrgica nacional ofrece procesos de fundición de varios metales como por ejemplo el hierro, aluminio, y cobre, pero en cantidades superiores a los 100 Kg. cuyo objetivo es la fabricación de piezas específicas para uso industrial.

A nivel académico varias instituciones del país ocupan varios metales férricos que son tratados en hornos de inducción, arco eléctrico y cubilotes, y para estudio de metales no ferrosos, comúnmente estas entidades manejan hornos de crisol, con alimentación a gas (GLP), Diésel, y/o resistencias eléctricas.

Particularmente en la Universidad Técnica de Ambato el Laboratorio de Materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica, cuenta con un Horno Eléctrico (Horno de Mufla) que sirve para realizar exclusivamente prácticas de tratamientos térmicos

como, normalizado, recocido de regeneración y temple, recocido de ablandamiento, entre otros, en varios metales ferrosos y no ferrosos. Además cuenta con un horno de fundición de Crisol, con alimentación a diésel, el cual tiene una capacidad de carga de 60 Kg., en éste se realizan prácticas de fundición de aluminio, en nuevas e importantes tecnologías adquiridas por la Universidad Técnica de Ambato podríamos mencionar que el laboratorio de materiales cuenta con un horno de inducción en el mismo que los estudiantes pueden desarrollar sus prácticas, aquí podemos hacer fundiciones de aluminio, y algunas aleaciones a base de cobre, el mencionado horno está limitado para la utilización de un crisol de bajo tamaño y contaría con una capacidad de hasta 3 Kg. de material fundido.

1.2.2. Análisis Crítico.

Debido a la necesidad de optimizar materia prima de metal base cobre dentro del laboratorio, transformarlo mediante un proceso de fundición y de éste hacer su respectivo estudio es factible entonces poder implementar estrategias que nos permiten integrar los conocimientos teóricos con experiencias prácticas, así tener un contacto más cercano con el funcionamiento correcto de un proceso de fundición.

1.2.3. Prognosis.

Si no se desarrolla métodos para optimizar las diferentes aleaciones de base cobre estaremos evitando un desenvolvimiento académico de la comunidad educativa.

Al no realizar una debida investigación acerca de la fundición de los metales, se obstaculiza el aprendizaje, el desarrollo de nuevos equipos, nuevas tecnologías, y estudios para la optimización de materiales, además de no poder vivir la experiencia que genera el realizar este tipo de prácticas en un laboratorio.

1.2.4. Formulación Del Problema.

¿Cuál Horno de fundición de cobre y aleaciones permite la optimización de materia prima en el Laboratorio de Materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica De Ambato?

1.2.5. Interrogantes

- ¿Qué tipo de hornos de fundición se utilizan para la optimización de materiales metálicos?
- ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de los hornos de fundición de cobre y aleaciones?
- ¿Qué parámetros se deben tener en cuenta en el diseño de un horno de fundición de Cobre?

1.2.6. Delimitación del objeto de investigación.

1.2.6.1. Delimitaciones del contenido.

Este proyecto se realizará con los fundamentos basados en las áreas de:

- Ingeniería De Materiales
- Sistemas Térmicos
- Diseño Mecánico

1.2.6.2. Delimitación Espacial.

La investigación está enfocada directamente a la comunidad educativa que trabaja día a día en el Laboratorio de Materiales en la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

1.2.6.3. Delimitación temporal.

El desarrollo de este estudio está comprendido entre los meses de Octubre 2013 y Marzo del 2014.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La educación como desarrollo de tecnologías para la correcta formación de profesionales dentro de la Universidad Técnica de Ambato, es la preparación de la misma dentro del campo investigativo, el presente estudio de Hornos de Fundición de Cobre y sus Aleaciones, contribuirá a la innovación de la tecnología actual a través de una investigación detallada, cumpliendo con varios parámetros como la seguridad industrial y la optimización de materia prima dentro del Laboratorio de Materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Determinar un Horno de Fundición de Cobre y sus Aleaciones, que permita optimizar materia prima en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica De Ambato.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Investigar los tipos de hornos que actualmente se ocupan para la fundición de cobre y aleaciones.
- Definir ventajas y desventajas de cada horno utilizado comúnmente para la fundición de aleaciones de base cobre.
- Investigar todos los parámetros que influyen en el diseño de un horno de fundición.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.

En la Escuela de Ingeniería de la Escuela Politécnica Nacional, en el año 2006. El Sr. Byron Germán Rosero Villarreal, realizó una investigación sobre el tema “Diseño De Un Horno De Crisol Basculante Para El Laboratorio De Fundición Del Departamento De Materiales De La Escuela Politécnica Nacional”. Este equipo fue diseñado para la fundición de aleaciones base cobre, con una capacidad de 100 kg, de Cobre y utilizando Diésel como combustible.

Además concluye que: “El diseño realizado supera las dificultades técnicas y el riesgo que se presentan en otros equipos de dicho laboratorio, ya que mientras el horno y el crisol basculan, el quemador y la chimenea se mantienen en una posición fija, minimizando así el peligro existente hacia los participantes de las prácticas”.

2.2. FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

Con la presente investigación se pretende seleccionar el horno adecuado de fundición de cobre necesario para mejorar la optimización de materia prima de base cobre en el laboratorio de materiales, y a su vez combinar el aprendizaje teórico, con la experiencia práctica de la fundición de Cu y sus aleaciones, ya que debido al crecimiento poblacional del estudiantado de la carrera de Ingeniería Mecánica se ha incrementado la demanda de equipos para estudio de la metalurgia, particularmente en la fundición de materiales, para realización de prácticas técnicas.

2.3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL

El estudio toma como referencia las siguientes normas:

- INEN 0601 (Dibujo técnico, mecánico)

- NTE 0607 (Materiales refractarios)
- ASTM E23-02a. (Ensayo Charpy)
- ASTM E112 (Metalografía, Tamaño de grano)
- ASTM E18 (Ensayo de dureza)
- NTE 0109 (Ensayo a Tracción)
- NTE INEN 1512:87 (Fundiciones)

2.4. CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

El estudio de hornos de fundición de cobre y aleaciones, está basada en una temática muy amplia y variada, e involucra los siguientes ámbitos, a estudiar:

2.4.1. Gráficos de Inclusión Interrelacionados

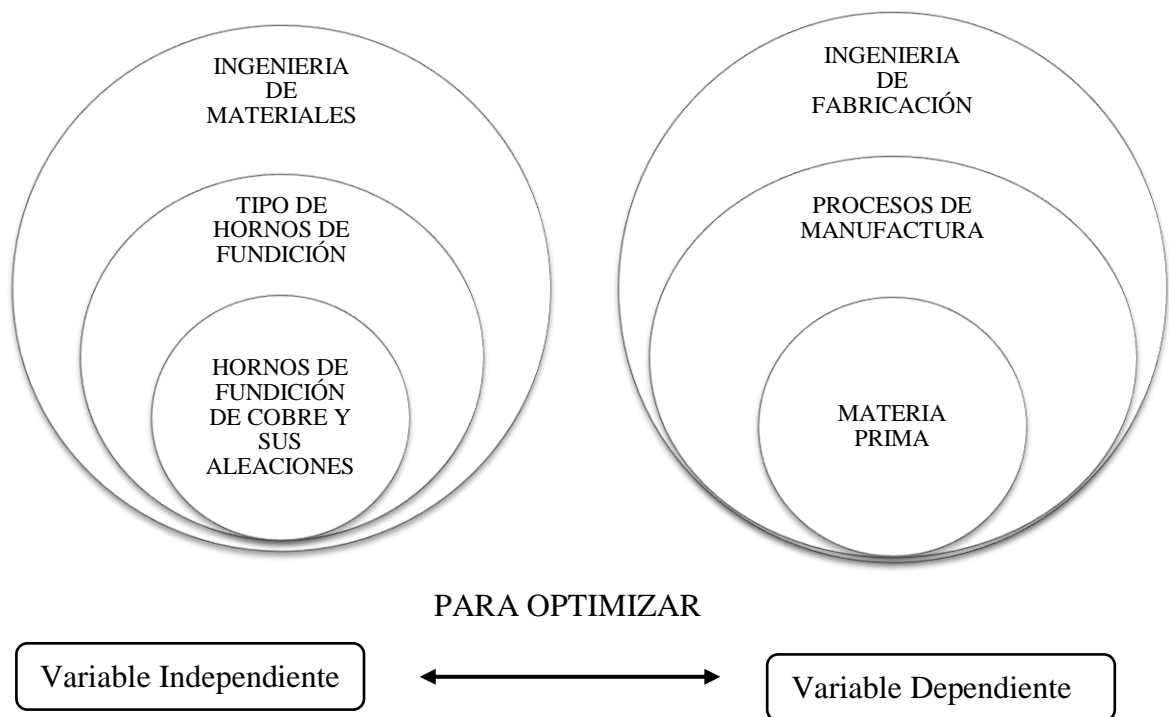


FIGURA 1. Red de Categorías Fundamentales

Fuente: *Autor*

2.4.2. Cobre

“El cobre es el metal no ferroso más extendido en la tierra. El cobre puro se usa en electrotecnia como buen conductor de corriente; la presencia de impurezas disminuye bruscamente la conductividad del cobre.” (MALISHER A. 1975. *Tecnología de los metales*, pg. 153)

2.4.2.1. Características

- El cobre es más económico que el oro y la plata.
- Es resistente a la corrosión por lo que le hace un metal muy esencial para diferentes usos industriales.
- Excelente conductor de electricidad y calor.
- Es flexible y maleable.
- El punto de fusión del Cobre es 1085 oC (1985 oF), densidad relativa 8.89 gr/cm³, densidad absoluta 554 lb/pie³. (Ver Anexo 1).

2.4.2.2. Propiedades Principales del Cobre Puro.

Es utilizado en el área industrial por sus muy importantes propiedades como son:

2.4.2.2.1. Propiedades Físicas.

El cobre no tiene magnetismo, propiedad muy importante para la industria de la construcción.

Las principales propiedades físicas del cobre son:

- Excelente conductor de eléctrico
- Buen conductor del calor
- Amagnético

2.4.2.2.2. Propiedades Químicas.

El cobre es un metal resistente al agua y a varios agentes químicos, a excepción del amoníaco y sus derivados pues la combinación de estos ácidos con el cobre hace que este último se oxide rápidamente. Por lo tanto el cobre, es resistente a los agentes atmosféricos, y no se corroe fácilmente, a temperaturas normales.

2.4.2.2.3. Propiedades Biológicas.

- En el ser humano contribuye a la formación de la hemoglobina de la sangre.
- Destruye microorganismos y bacterias existentes en el ambiente.

2.4.2.2.4. Propiedades Mecánicas.

- Resistente a la tracción.
- Límite elástico alto.

El cobre no se puede utilizar en trabajos que requieren gran resistencia mecánica, buena maquinabilidad, resistencia a las temperaturas elevadas, resistencia al desgaste, etc. Por lo cual se debe hacer una aleación con otros metales como por ejemplo el zinc, aluminio, estaño, hierro, entre otros, para llegar a una fundición que pueda reunir las propiedades capaces de cumplir con estos requerimientos. Estas aleaciones dependerán de los porcentajes del metal base como el metal de aporte, así se llega a formar las siguientes aleaciones.

- Latones
- Bronces
- Cuproaluminios

2.4.2.2.5. Propiedades De Soldabilidad.

La fusión entre metales mediante el proceso de soldadura, lo que se trata con cobre se lo puede soldar perfectamente sea con la plata o con el estaño.

2.4.2.2.6. Propiedades Estéticas.

Es utilizado especialmente en arquitectura y decoración, por su color y su resistencia a los agentes atmosféricos. El cobre al mantenerse al medio ambiente adquiere una oxidación superficial la misma que lo protegerá al metal de una oxidación más concentrada acorde pasa el tiempo.

2.4.2.3. Aleaciones Base Cobre.

“Las aleaciones a base de cobre son el bronce y el latón, para preparar aleaciones de cobre se emplean ampliamente ligas de aleaciones binarias: Cu-Al, Cu-P, Cu-Mn, Cu-Ni, Cu-Si, etc. Cuya temperatura de fusión es inferior a la del componente refractario que entra en la composición de la aleación. La fusión de los bronce al estaño y los latones se realiza en hornos de crisol, en hornos de llama directa y hornos de arco eléctrico”. [NEELY John E. (2002). *Metalurgia y Materiales Industriales*, 3^a Edición Pág. 71]

2.4.2.3.1. Latón.

Es una aleación de Cobre y Zinc, su color generalmente varía del blanco al amarillo, existen varios tipos de latón, desde el metal para dorar utilizado en joyería, hasta el metal Muntz (con 60% de Cu y 40% de Zn) que se usa como fundente en la soldadura fuerte y el chapeado. El fundente tiene una temperatura de fusión de más 427 °C (800 °F).

El Latón es fácilmente maquinable, más resistente que el bronce y produce una rebaba continua durante el maquinado. El punto de fusión de la mayoría de los tipos de latón va desde 880 hasta 993 °C (1616 a 1820 °F), y su densidad va desde 512 a 536 lb/pie³.

2.4.2.3.2. Bronce.

Existen muchos tipos de bronce formado por diferentes combinaciones de cobre y otros metales. El Bronce al Aluminio llamado también bronce comercial, se usa con

frecuencia para la elaboración de bujes y cojinetes con capacidad para cargas elevadas, (con 90% de Cu y 10% de Al). El punto de fusión del bronce es 1005 °C (1841 °F), su densidad es 518 lb-pie³. (Ver Anexo 1).

Los broncees son más duros que los latones pero se maquinan fácilmente con herramientas afiladas.

2.4.2.4. Aplicación del Cobre y sus Aleaciones.

Los cinco mercados principales, con la participación porcentual respectiva del cobre y de las aleaciones de cobre, son las siguientes:

Construcción de Edificios: 41%. Este mercado es el más grande, y se utiliza grandes cantidades de cable eléctrico, tubería, y piezas de herrajes de construcción y de sistemas eléctricos, de plomería, calefacción y de accionamiento de aire.

Productos Eléctricos y Electrónicos: 24%. Estos productos incluyen los destinados a telecomunicaciones, electrónica, dispositivos de canalización eléctrica, motores eléctricos y empresas proveedoras de energía eléctrica.

Máquina y Equipo Industrial: 40%. Esta categoría incluye válvulas y accesorios industriales; intercambiadores de calor industrial, químico y marino, y diversos tipos de equipos pesados, vehículos todo terreno y maquinas herramientas.

Transporte: 11%. Las aplicaciones en este sector incluyen vehículos de carretera, equipo ferroviario y piezas de avión: 10%. Incluyen aparatos eléctricos fiadores, monedas y joyería. [MANGONON Pat L. (2011). *Ciencia de Materiales: Selección y Diseño, 1ª Edición, Pág. 591*]

2.4.3. Fundición.

Es uno de los más antiguos procesos de formado que se remonta a 6 mil años atrás, con la fundición se pudieron hacer formas mucho más complejas que por simple martilleo. En proceso de fundición el metal fundido fluye por gravedad u otra fuerza

dentro de un molde donde se solidifica y toma la forma de la cavidad del molde, el término fundición se aplica también a la parte resultante de este proceso.

2.4.3.1. Fundición de Cobre y Aleaciones.

2.4.3.1.1. Proceso de fusión, colada y moldeo, de piezas de cobre comercial (N° 1.613).

Este metal a nivel de mercado comercial nacional tiene en su composición, un aproximado de un 2% de varios metales nobles como por ejemplo estaño o zinc, los mismos que producirán una aleación más dura y mejoraría también la maquinabilidad de la misma, que comúnmente es utilizado en la fabricación de diversas juntas eléctricas, en las cuales la conductividad eléctrica y resistencia a altas temperaturas no siempre es necesaria.

Moldes en arena: se utiliza las arenas naturales para la conformación del molde el cual deberá contener al metal líquido hasta que se enfríe en forma natural.

Efectos de las impurezas: Las impurezas se dan por lo general en la obtención de cobre comercial, el porcentaje de éste dependerá de la pureza de los materiales, es decir mientras más contaminados estén los metales a fundir, mas escoria se formara al momento de la fundición.

Tipos de hornos: La industria de la metalurgia utiliza comúnmente en el proceso de fundición de aleaciones de base cobre los hornos de crisol, los más utilizados son:

Horno de crisol fijo, que utiliza el calor producido por la quema de leña, (Empírico).

Horno de crisol fijo, con quemador de GLP o Diésel.

Horno de crisol basculante, con quemador de GLP o Diésel.

[GROOVER M. (1997). Fundamentos de manufactura moderna, 1ª Edición, Pág. 240]

2.4.3.1.2. Proceso para fundir aleaciones de base cobre.

2.4.3.1.2.1. Diseño del modelo

Para la realización de aleaciones en arena se necesita un molde a tamaño natural sea este un molde abierto o cerrado como se observa en la fig. 2, y este construido de madera, plástico, u otro material, que tiene la forma de la parte que será fundida.

Al inicio del proceso de fundición se debe tomar en cuenta las propiedades así como las características físicas que se buscan en dicha pieza, como:

- Dimensionar el molde a sobre medida pues debemos tener presente que al enfriarse la colada a temperatura ambiente producirá la contracción de la pieza.
- Deberá tener un ángulo de salida con la dirección de desmolde, para que el objeto sea retirado sin dañar el molde, y luego pueda ser trabajado para darle los acabados pertinentes, como por ejemplo torneado y/o fresado.
- Colocar canales de alimentación, necesarios para el llenado con el metal líquido.

Fundiciones con perforaciones. Al construir un objeto hueco, será necesario disponer machos, o corazones que serán colocados en la parte donde vaya la oquedad y así la fundición no ocupe este lugar.

Metal Líquido (Colada). El metal líquido se lo vierte alrededor del molde a través de los canales de alimentación.

2.4.3.1.2.2. Vaciado del metal fundido

Después del calentamiento, el material está listo para vaciarse, La introducción del metal fundido en el molde y su flujo dentro del sistema de vaciado y de la cavidad es un paso crítico en el proceso. Para que esto tenga éxito, el metal debe fluir antes de solidificarse a través de todas las regiones del molde, incluida la región más

importante que es la cavidad principal. Los factores que afectan la operación de vaciado son la temperatura de vaciado, la velocidad de vaciado y la turbulencia.

Solidificación de los metales. La solidificación involucra el regreso del metal fundido al estado sólido. El proceso de solidificación difiere, dependiendo de si el metal es un elemento puro o una aleación. La velocidad en la solidificación es muy importante pues si es muy veloz esto provoca que la fundición tenga tensiones mecánicas y en su mayoría exista fisuras o grietas, y por contrario es muy lenta baja su productividad, y en caso que el enfriamiento sea desigual esto provocaría que haya variación de durezas en puntos diferentes de la fundición.

Desmoldeo. Una vez que la fundición se ha enfriado lo suficiente, se remueve el molde. Pueden necesitarse procesamientos posteriores, dependiendo del método de fundición y del metal que se usa.

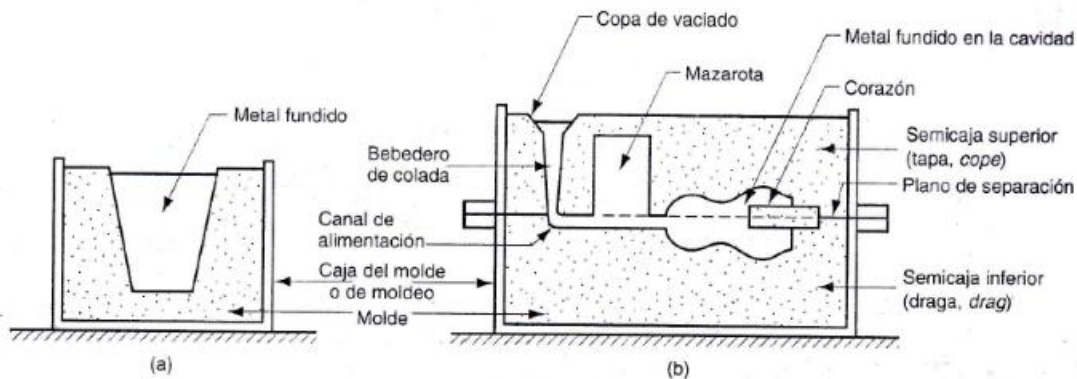


FIGURA 2. Dos formas de molde; (a) molde abierto, simplemente un recipiente con la forma de la parte de la fundición; y (b) molde cerrado, de forma más compleja que requiere un sistema de vaciado conectado con la cavidad.

Fuente: GROOVER M. 1997. *Fundamentos de manufactura moderna*, 1ª Edición. Editorial Prentice Hall, México. Pág. 275.

2.4.3.2. Proceso de fusión, colada y moldeo, de piezas de cobre de alta conductividad (Nº 1.614).

A pesar de que el cobre es un gran conductor de electricidad y resistente a altas temperaturas, en estado puro es muy difícil de adquirir por ello en la actualidad se hacen aleaciones las mismas, que mejoren propiedades como su resistencia, maquinabilidad y dureza.

La fundición en hornos de crisol, sean fijos o basculantes deben regirse a los siguientes parámetros para lograr cumplir con un proceso correcto:

- Calentar el horno y el crisol a una temperatura adecuada para eliminar humedad.
- Carga de material a fundir.
- Evitar la oxidación superficial de la carga.
- Alcanzar 1085°C y desgasificación del baño.
- Oxidación del hidrógeno disuelto.
- Desgasificación de la carga.
- Ajuste de temperatura del baño.

2.4.4. Tipos de Hornos De Fundición.

La selección del tipo más apropiado de horno depende de factores tales como la aleación de fundición, su temperatura de fusión y vaciado, la capacidad necesaria del horno, los costos de inversión, operación y mantenimiento, así como los aspectos relativos a la contaminación ambiental. Determinado estos parámetros a tomar en cuenta observamos a continuación los diversos tipos hornos para fundir los metales:

Hornos eléctricos

- Hornos eléctricos de arco
- Hornos de arco directo monofásico y de arco trifásicos
- Hornos de arco indirecto monofásico
- Hornos eléctricos de resistencia

Hornos de Inducción

- Hornos de inducción de baja frecuencia
- Hornos de inducción de alta frecuencia.

Hornos de Crisol

- Horno de crisol fijo, con alimentación de carbón.
- Horno de crisol fijo de quemador a Diésel o GLP.
- Horno de crisol basculante de Diésel o GLP.

TABLA 2.

Propiedades termofísicas de solidos metálicos seleccionados. Temperaturas de fusión.

Metal o aleación	Temperatura de fusión ⁰k
Aluminio puro	933
Berilio	1550
Bismuto	545
Cadmio	594
zinc	693
Cobre puro	1358
Cartucho de Latón	1188
Bronce comercial	1293

Nota: Fuente: ICROPERA, F. (1999). *Fundamentos de transferencia de Calor*, 4^a Edición. Prentice Hall, México, Tabla A3, pg. 828

2.4.4.1. Hornos Eléctricos.

Este tipo de horno trabaja con resistencias eléctricas las mismas que se encargan de calentar el material hasta convertirlo en metal líquido.

La tecnología con la que trabajan este tipo de hornos es alta pues son totalmente automatizados, por lo cual son utilizados para la obtención de metales especiales.

2.4.4.1.1. Horno eléctrico de arco.

En este tipo de hornos, la carga se funde por el calor generado en un arco eléctrico, la corriente pasa a través de un electrodo hacia otro produciendo un arco eléctrico directo.

Mientras más alta sea la potencia en un horno eléctrico, más alta será la calidad del metal fundido. El consumo de potencia es alto, pero los hornos de arco eléctrico pueden diseñarse para altas capacidades de fusión (25 a 50 Ton/hr) y se usan principalmente para la fundición de acero. Fig. 3.

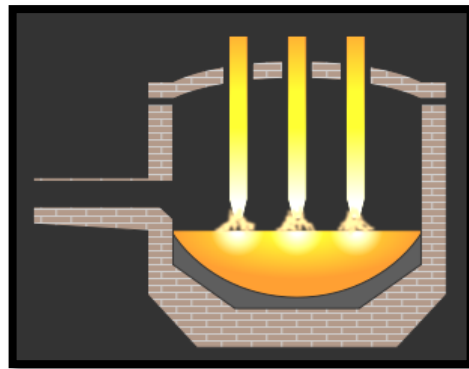


FIGURA 3. Horno Eléctrico por Arco

Fuente: Recuperado de:http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electric_Arc_Furnace.svg

2.4.4.1.2. Horno eléctrico de resistencias.

Los hornos por resistencias eléctricas son utilizados generalmente para varios y distintos tratamientos térmicos, y muy pocos para fundición. Fig. 4.

2.4.4.1.3. Ventajas de la utilización de hornos eléctricos.

- Utiliza energía eléctrica.- En nuestro país existe el suministro adecuado para la utilización de aparatos y máquinas que trabajen con este tipo de energía.
- Son totalmente Automatizados.- con la utilización correcta de un manual, se puede acceder a la programación del horno.

- Fundición de aceros especiales.- Al hallarse el metal a fundir confinado, se halla libre de todo cuerpo extraño. (aire, gas, carbón, etc.), así se puede lograr obtener cualquier tipo de aleación especial.
- “Altas temperaturas.- Permite tener escorias muy calcáreas que aseguran la eliminación casi completa del fosforo y del azufre.
- Rebaja la quema del metal.- Rebaja considerablemente la quema del metal debido que no existe llama oxidante.” [MALISHEV, A.(1975), *Tecnología de los Metales*, 7^a Edición, pág. 24.]



FIGURA 4. Horno Eléctrico por Resistencias, Laboratorio de Materiales FICM-UTA.
Fuente: *Autor*

2.4.4.1.4. Desventajas de la utilización de hornos eléctricos.

- El Consumo de energía eléctrica es alta.- Estos hornos necesitan una gran cantidad de electricidad para llegar a altas temperaturas.
- Costos de Adquisición.- Se debe considerar que al trabajar con tecnología alta, su costo también es alto.
- Poca utilización para la fundición.- Ocupamos estos hornos para realizar tratamientos térmicos, muy pocos se utilizan para la fundición de metales.

2.4.4.2. Hornos De Inducción

Un horno de inducción usa corriente alterna través de una bobina que genera un campo magnético en el metal, el resultado de la corriente inducida causa un rápido calentamiento y la fusión del metal. Al observar la Fig. 5a, se ilustran las características de un horno de inducción para operaciones de fundición. El campo de fuerza electromagnética provoca una acción de mezclado en el metal líquido. Además, como el metal no está en contacto directo con ningún elemento de calefacción, se puede controlar cuidadosamente el ambiente donde se practica la fusión. El resultado es una fundición de alta calidad y pureza. Los hornos de inducción se usan para casi cualquier aleación cuyos requerimientos de calidad sean importantes.

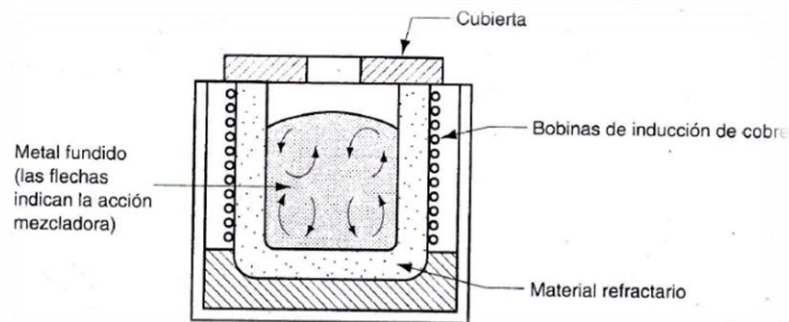


FIGURA 5. Horno De Inducción.

Fuente: GROOVER M. 1997. *Fundamentos de manufactura moderna*, 1ª Edición. Editorial Prentice Hall, México. Pág. 283.

Una de las principales características es su capacidad, pues estos hornos trabajan con cantidades menores de un kilogramo hasta valores de una tonelada. Pero lo negativo de las fundiciones queda imposibilitadas para su refinamiento.

La contaminación ambiental por ruido se hace presente en este tipo de hornos pues produce un ruido agudo que perturba al ambiente de trabajo.

2.4.4.2.1. Horno de inducción de alta frecuencia.

“En el horno de inducción de alta frecuencia se transforma una mezcla de materiales bastantes puros y minuciosamente elegidos. Debidamente a la alta velocidad del

proceso, el metal no puede oxidarse mucho, al final de la fusión se introduce una pequeña cantidad de adiciones y desoxidantes.

Se usan en la producción de aceros perfilados y para la fusión de aceros de alta aleación (aceros resistentes a altas temperaturas, inoxidable, etc.).” [MALISHEV, A. (1975), *Tecnología de los Metales*, 7ª Edición, Pág. 283].

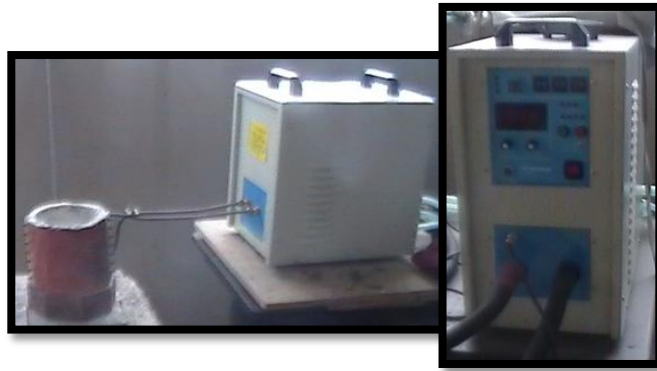


FIGURA 6. Horno De Inducción, Laboratorio de Materiales FICM-UTA.

Fuente: *Autor*

2.4.4.2.2. Ventajas de la utilización de hornos de inducción

- Funciona con corriente alterna.
- Al no tener ningún contacto con los elementos de calefacción la fundición resultante es limpia.
- La corriente inducida causa un rápido calentamiento y la fusión del metal.
- Tiene la capacidad de fundir desde 1kg hasta 100 ton, comúnmente funde Fe, Acero, Cu, Al, entre otros.

2.4.4.2.3. Desventajas de la utilización de hornos de inducción

- Valor de compra y consumo de energía muy elevados.
- En la fundición de aleaciones no se puede hacer un proceso de refinamiento.

- El sonido característico de este horno provoca malestar en los operadores del equipo, por lo cual se debe utilizar siempre protección auricular.
- Dependiendo el metal a fundir se eleva o disminuye su frecuencia pues:
 - Al elevar su frecuencia, disminuye la turbulencia y provoca una oxidación más baja.
 - Al bajar la frecuencia, aumenta la turbulencia y posibilita que exista una mayor oxidación.

2.4.4.3 Hornos De Crisol

En estos hornos se funde el metal, sin entrar en contacto directo con los gases de combustión. Por esta razón se llaman en algunas veces hornos calentados indirectamente. En la fundición de los primeros hornos de crisol se rodeaba de carbón a una distancia de 10 cm aproximadamente de las paredes del horno.

En los talleres de fundición actualmente existen tres tipos de hornos: (a) tipo crisol móvil, (b) estacionario fijo, (c) basculante o inclinable, como se muestra en la Fig. 6.

Utiliza un recipiente refractario (crisol), o de acero aleado para soportar la carga.

En los hornos de crisol tanto fijos como basculantes la colada no tiene contacto con la fundición por lo cual esta no se ve afectada por los gases de combustión provocados por los quemadores sea de GLP, o Diésel. El combustible utilizado comúnmente es gas licuado de petróleo GLP, que junto con el Diésel, son los de fácil adquisición en el mercado ecuatoriano. *[GROOVER M. (1997). Fundamentos de manufactura moderna, 1ª Edición, Pág. 283]*

2.4.4.3.1. Horno de crisol fijo, o estacionario.

El horno es estacionario y el metal fundido se cucharea fuera del recipiente.

Alcanza un rendimiento Térmico 3 a 7%

2.4.4.3.2. Horno de crisol fijo con alimentación de GLP. O Diésel.

Tiene un rendimiento térmico aproximado del 8 a 13 %

Al igual que el caso anterior el crisol permanece fijo y el metal fundido se lo retira mediante una cuchara ya lista para ser colocada en los moldes.

2.4.4.3.3. Horno de crisol basculante Diésel o gas, con quemador integrado.

Llega a tener un rendimiento térmico aproximadamente del 7 a 18 %

El dispositivo entero se puede inclinar para vaciar la carga, los hornos de crisol se usan para metales no ferrosos como el bronce, el latón y aleaciones de zinc y de aluminio. Las capacidades de los hornos se limitan generalmente a un peso adecuado.

La estructura del horno puede inclinarse para verter la colada directamente a los moldes. El eje de rotación del horno puede ser central o transversal.

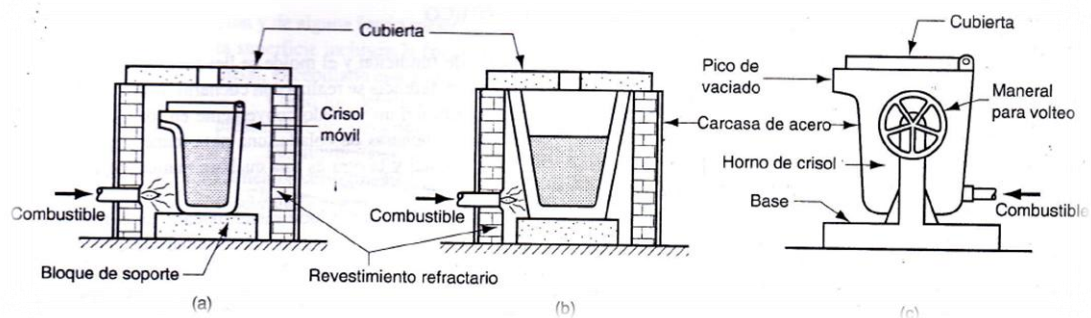


FIGURA 7. Tres tipos de hornos de crisol: (a) crisol móvil, b crisol estacionario y (c) crisol basculante o de volteo.

Fuente: GROOVER M. 1997. *Fundamentos de manufactura moderna, 1ª Edición. Editorial Prentice Hall, México. Pág. 283.*

2.4.4.3.4. Formas de calentamiento de un horno de crisol.

Según la manera de calentar los hornos de crisol, son diseñados para su funcionamiento con energía eléctrica o energía de combustibles.

Los hornos comúnmente utilizados con energía eléctrica son de resistencias y de inducción. Pero los hornos con respecto a la utilización de combustibles, se desglosa en varias opciones (tabla 3).

Cada una de estas opciones tiene tanto sus ventajas, como sus desventajas, unas serán beneficiosas y otras dañinas de acuerdo con las necesidades o exigencias de la empresa o personal que necesite de el.

TABLA 3.

Principales tipos de combustible que pueden ser usados en la operación de los hornos de crisol

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 diésel	11000 Kcal/litro
	Alcohol etílico	7300
	Querosene	11600
	Petróleo - Fuel - Oil - OC4	9820
Gaseoso	Gas licuado	10900
	Gas de coque	4500
	Gas natural	10000
	Metano	8500

Nota: Recuperado de: <http://www.arwas.com.ar/documentos/T-ESPEL-0594.pdf>

2.4.4.3.5. Ventajas del uso de hornos de crisol.

- Es utilizado en la fabricación de piezas hechas de metales no ferrosos como el cobre, bronce, el latón, zinc, aluminio, y demás aleaciones de cobre.
- Su Adquisición, mantenimiento es económico.
- Puede fundir cantidades pequeñas, según sea la necesidad.
- Su combustible es de fácil adquisición en el mercado nacional.
- Según sea la necesidad se clasifican en Hornos de tipo fijo y basculante.
- En el caso de los hornos de crisol basculante, no se utiliza ningún tipo de herramientas para sacar la carga, pues el horno es basculante y el operador no corre ningún riesgo de quemadura por contacto con la carga.

2.4.4.3.6. Desventajas del uso de hornos de crisol

- En el caso de los hornos de crisol fijos, se deben utilizar herramientas adecuadas para sacar la carga y colocarla en los moldes.
- Ocupa mayor espacio en comparación a otros hornos.
- Si no se tiene una ventilación adecuada puede causar problemas en la atmosfera de trabajo (contaminación por emanación de gases de combustión) en el momento del encendido del quemador.

2.4.5. Cantidad de transferencia de calor

En todos los fenómenos de transferencia identificamos:

- Una diferencia de potencial, o fuerza conductora que causa la transferencia.
- Un flujo de la entidad que se transfiere, entre puntos a potenciales diferentes.
- Una resistencia que el medio opone a la transferencia en la región en que existe la diferencia de potencial.
- El potencial para la transferencia de calor es una diferencia de temperatura

Recuperado de:

[<http://www.ucursos.cl/ingenieria/2010/1/ME43B/1/.../272073>]

$$(\Delta T = T_1 - T_2)$$

Dónde:

ΔT = Diferencial de temperaturas.

T1: Temperatura inicial.

T2: Temperatura final.

El calor se transfiere de alta a baja temperatura.

El medio a través del cual el calor se transfiere opone una resistencia a la transferencia (R).

2.4.5.1. Flujo de calor por convección.

“La transmisión de calor solamente por conducción se presenta muy pocas veces en los hornos industriales. Se produce al dejar un metal frío sobre una solera caliente. También se presenta durante un tiempo muy corto, al sumergir una pieza metálica en un baño de sales o de metal fundido. Si dos piezas de un material sólido están en contacto (no separadas por una capa de aire u otro fluido) las superficies de contacto alcanzan instantáneamente la misma temperatura, a la cual se halla entre las temperaturas de los cuerpos en contacto. Los gradientes de temperatura en las superficies de contacto son inversamente proporcionales a la conductividad de los materiales de contacto, como se puede observar en la Fig. 8. La cantidad de calor transmitido en la unidad de tiempo depende no solamente de las temperaturas de los cuerpos, sino también de la difusibilidad térmica y de la forma de los cuerpos.”

[TRINKS W. (1975). *Hornos Industriales. Editorial Urmo. Vol. 1, Pg. 42*]

Es posible cuantificar los procesos de transferencia de calor en términos de las ecuaciones o modelos apropiados. Estas ecuaciones o modelos sirven para calcular la cantidad de energía que se transfiere por unidad de tiempo. Para la conducción de calor, la ecuación o modelo se conoce como ley de Fourier. Para la pared plana unidimensional que se muestra en la fig. 7. La cual tiene una distribución de

temperatura $T_{(x)}$, la ecuación o modelo se expresa como:

$$q''_x = -k \frac{dT}{dx} \quad (\text{Ec. 1.})$$

El flujo de calor o transferencia de calor por unidad de área q''_x (W/m^2) es la velocidad con que se transfiere el calor en la dirección x por área unitaria perpendicular a la dirección de transferencia, y es proporcional al gradiente de temperatura, dT/dx en esta dirección. La constante de proporcionalidad, k , es una propiedad de transporte conocida como conductividad térmica ($\text{W/m} \cdot \text{K}$) y es una característica del material de la pared.

En las condiciones de estado estable que se muestra en la Fig. 8, donde la distribución de temperatura es lineal, el gradiente de temperatura se expresa como.

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L}$$

Dónde:

T1: Temperatura inicial.

T2: Temperatura final.

Flujo de calor.

$$q''_x = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (\text{Ec. 2})$$

Observe que esta ecuación proporciona un flujo de calor, es decir, la velocidad del calor transferido por unidad de área. El calor transferido por conducción por unidad de tiempo, q_x (W), a través de una pared plana de área A , es entonces el producto del flujo y el área”. [ICROPERA, F. (1999), *Fundamentos de Transferencia de Calor*, 4ª Edición]

$$q_x = q''_x * A$$

Dónde:

q''_x = Flujo de calor en dirección x , (W/m^2)

dT/dx = gradiente de temperatura

k = constante de proporcionalidad, ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)

A = Área, (m^2)

L = Espesor de pared,

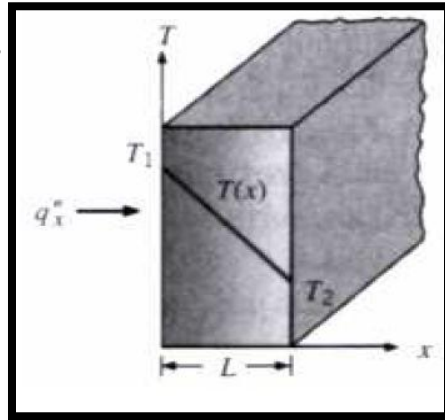


FIGURA 8. Transferencia unidimensional de calor por conducción

Fuente: ICROPERA, F. (1999). *Fundamentos de transferencia de Calor*, 4ª Edición. Prentice Hall, México.

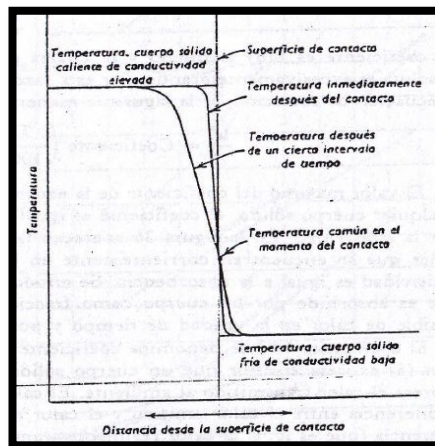


FIGURA 9. Efecto de la conductividad y el tiempo sobre las gradientes de temperatura de dos sólidos de diferente temperatura al transmitirse el calor por conducción.

Fuente: TRINKS W. (1975). *Hornos Industriales*. Editorial Urmo. Vol. 1. Pg. 42.

2.4.6. Materiales Refractarios y Termoaislantes

Los materiales refractarios tienen la capacidad de resistir la acción y el contacto de altas temperaturas, así como los procesos físicos y químicos que suelen tener lugar en los hornos o alguna estructura que se encuentra a altas temperaturas. *Recuperado de: www.repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/843/1/75990.pdf*

2.4.6.1. Propiedades de los Refractarios.

Las propiedades de los refractarios se dividen por sus propiedades físicas y químicas, entre las propiedades más relevantes se encuentran las siguientes:

- Porosidad
- Permeabilidad respecto a los gases,
- Estabilidad térmica,
- Solidez
- Termo conductividad,
- Conductividad eléctrica
- Calor específico.

2.4.6.1.1. Porosidad

La porosidad representa la relación entre el volumen de los poros y el volumen total del material y se expresa, generalmente, en tantos por ciento.

2.4.6.1.2. Permeabilidad respecto a los gases.

Esta propiedad se caracteriza por el coeficiente expresado en litros de aire que pasa a través del material refractario de área de 1 m^2 y de espesor de 1 m en una hora, siendo la diferencia de presiones 1 mm de la columna de agua. Esta permeabilidad depende de la temperatura, de la magnitud y carácter de los poros, de la homogeneidad de estructura del material.

Al incrementarse la temperatura, la permeabilidad de los refractarios respecto a los gases disminuye porque aumenta la viscosidad del gas.

2.4.6.1.3. Estabilidad térmica.

Es la capacidad del material de resistir repetidamente varios embates de temperaturas altas, sin resquebrajarse.

2.4.6.1.4. Resistencia a escorias.

Comprende la propiedad de los refractarios de resistir la acción de escorias recalentadas hasta el estado líquido. Ella depende de la composición mineralógica y de la estructura (porosidad, agrietamiento, etc.) del refractario. Cuando las escorias son ácidas, los refractarios deben ser ácidos también; cuando aquellas son alcalinas, también lo deben ser los refractarios.

2.4.6.2. Clasificación de refractarios.

La clasificación de los refractarios se hace en base en sus cualidades como es el grado de resistencia al fuego, composición químico-mineral, tecnología y el método de fabricación empleado y tratamiento térmico recibido. Para el diseño térmico y construcción del prototipo se utilizó ladrillo de chamota.

2.4.6.2.1. Refractarios de chamota.

Se fabrican de arcillas refractarias con un agregado de arcilla tostada. El contenido de Al_2O_3 oscila entre 30 y 45 %. Los refractarios de chamota resisten bien la acción química de las escorias ácidas y algo peor la de las básicas (ferrosas). En el caldeo bajo carga, paulatinamente pierden su solidez.

2.4.6.3. Materiales termoaislantes

Para el aislamiento térmico se emplean en los hornos diferentes tipos de materiales con baja conductividad térmica polvos de relleno, algodón de escorias o lana de vidrio, fibra cerámica y otros materiales. En el mercado nacional se lo encuentra con el nombre de *Manta Durablanket*, como hace referencia el catalogo informativo de UNIFRAX, (Ver Anexo 2) es un aislante refractario con propiedades térmicas ideales para el uso requerido, entre las cuales se pondera la baja conductividad térmica, alta reflexión de calor, baja densidad, liviana, excelente resistencia al choque térmico, aplicada principalmente en revestimientos de hornos y calderas.

2.4.7. Selección del Horno

Realizado el estudio de los hornos de fundición de cobre y sus aleaciones realizamos la evaluación de los mismos para una posterior toma de decisiones. Estas evaluaciones no se centran sobre un determinado elemento, sino que se ponderan distintos aspectos del sistema en base a criterios que a menudo implican juicio de valor.

Alternativas. Como mínimo se deben tomar dos alternativas, cuyas características deben ser diferentes. En la investigación se han tomado las tres siguientes alternativas.

- Horno de Crisol

- Horno Eléctrico

- Horno de Inducción

Criterios. Se establece los criterios en base a los cuales las alternativas fueron evaluadas así como también la ponderación relativa entre ellas. Se han tomado las principales características comunes de cada una de las alternativas así:

- Costo de Adquisición bajo. Uno de los principales criterios para la evaluación de alternativas es la adquisición de equipos para el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, por lo tanto se toma en cuenta este aspecto para la selección adecuada de uno de los hornos a utilizar.
- Consumo bajo de energía. En nuestro país los recursos como combustibles (Gasolina, Diésel, GLP), Energía eléctrica (120 Voltios, 220 Voltios), son recursos no renovables que son utilizados frecuentemente en la industria de la metalurgia.
- Mantenimiento. La facilidad en el mantenimiento de hornos representa una incidencia tanto en la economía como en el tiempo de para de trabajo mientras se lo realiza, es decir que mientras menor sea la complejidad de la máquina, menor será tanto el costo de mantenimiento como el tiempo de para del trabajo.
- Facilidad en el colado. El vertido del material fundido es uno de los parámetros fundamentales dentro de la fundición de los metales, pues involucra la seguridad del operador como la del laboratorio en sí.
- Capacidad de carga. La capacidad de cada uno de los hornos estudiados varia da acuerdo al tipo de energía utilizado, material a tratar y el espacio de trabajo disponible.

2.4.7.1. Método Ordinal Corregido de Criterios Ponderados.

Para realizar el análisis ponderado, la tabla 4 indica valores que se asignan para evaluar las alternativas, en donde, cada criterio se confrontan con los restantes.

TABLA 4.

Valorización de criterios para la ponderación

TABLA DE VALORES	
1	Si el criterio de las filas es superior que el de las columnas
0.5	Si el criterio de las filas es equivalente que el de las columnas
0	Si el criterio de las filas es inferior que el de las columnas

Fuente.

Autor

TABLA 5.

Evaluación de Criterios

Costo de adquisición bajo > Consumo de Energía > Mantenimiento > Facilidad en el colado > Capacidad de carga							
CRITERIO	Costo de adquisición bajo	Consumo bajo de Energía	Mantenimiento	Facilidad en el colado	Capacidad de carga	$\Sigma + 1$	Ponderación
Costo de adquisición bajo		1	1	1	1	5	0.50
Consumo bajo de Energía	0		1	1	1	4	0.40
Mantenimiento	0	0		1	1	3	0.30
Facilidad en el colado	0	0	0		1	2	0.20
Capacidad de carga	0	0	0	0		1	0.10
TOTAL						15	1.5

Fuente.

Autor

TABLA 6.

Análisis ponderado, bajo el criterio de costos de adquisición de los hornos

Horno de Crisol > Horno Eléctrico = Horno de Inducción					
Costo de adquisición bajo	Horno de Crisol	Horno Eléctrico	Horno de Inducción	$\Sigma + 1$	Ponderación
Horno de Crisol		1	1	3.00	0.50
Horno Eléctrico	0		0.5	1.50	0.25
Horno de Inducción	0	0.5		1.50	0.25
TOTAL				6	1

Fuente. Autor

TABLA 7.

Análisis ponderado bajo el criterio de menor consumo de energía utilizado por los hornos

Horno de Crisol > Horno Eléctrico = Horno de Inducción					
Consumo bajo de energía	Horno de Crisol	Horno Eléctrico	Horno de Inducción	$\Sigma + 1$	Ponderación
Horno de Crisol		1	1	3.00	0.50
Horno Eléctrico	0		0.5	1.50	0.25
Horno de Inducción	0	0.5		1.50	0.25
TOTAL				6	1

TABLA 8.

Análisis ponderado bajo el criterio de facilidad en el mantenimiento de los hornos

Horno de Crisol > Horno de Inducción > Horno Eléctrico					
Facilidad en el Mantenimiento	Horno de Crisol	Horno Eléctrico	Horno de Inducción	$\Sigma + 1$	Ponderación
Horno de Crisol		1	1	3.00	0.50
Horno Eléctrico	0		1	2.00	0.33
Horno de Inducción	0	0		1.00	0.17
TOTAL				6	1

Fuente. Autor

TABLA 9.

Análisis ponderado, bajo el criterio de facilidad en el colado del material fundido.

Horno de Crisol > Horno de Inducción = Horno Eléctrico					
Facilidad en el colado del material fundido	Horno de Crisol	Horno Eléctrico	Horno de Inducción	$\Sigma + 1$	Ponderación
Horno de Crisol		1	1	3.00	0.50
Horno Eléctrico	0		0.5	1.50	0.25
Horno de Inducción	0	0.5		1.50	0.25
TOTAL				6	1

TABLA 10.

Análisis ponderado, bajo el criterio de la capacidad de carga del horno

Horno de Inducción = Horno Eléctrico > Horno de Crisol					
Capacidad de carga	Horno de Crisol	Horno Eléctrico	Horno de Inducción	$\Sigma + 1$	Ponderación
Horno de Crisol		0	0	1.00	0.17
Horno Eléctrico	1		0.5	2.50	0.42
Horno de Inducción	1	0.5		2.50	0.42
TOTAL				6	1

Fuente. Autor

TABLA 11.

Resultados obtenidos de acuerdo a cada criterio analizado

CONCLUSIONES	Costo de adquisición bajo	Consumo bajo de Energía	Mantenimiento	Facilidad en el colado	Capacidad de carga	Σ	Prioridad
Horno de Crisol	0.250	0.200	0.150	0.100	0.017	0.467	1
Horno Eléctrico	0.125	0.100	0.100	0.050	0.042	0.292	2
Horno de Inducción	0.125	0.100	0.050	0.050	0.042	0.242	3

Fuente.

Autor

Con los resultados obtenidos en la tabla 11 se concluye que la utilización de un horno de fundición de crisol basculante cubre las necesidades requeridas por el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato , bajo los criterios como: el costo de adquisición bajo, su consumo de energía es económico, mayor facilidad en su mantenimiento así como en el vertido de la fundición, la capacidad de carga de un horno de crisol es menor que la de un horno eléctrico, así como de un horno a inducción sin embargo las valoraciones dadas en los otros criterios hacen que el horno de crisol sea tomado como la primera prioridad para la investigación.

2.4.7.2. SELECCIÓN DE COMBUSTIBLE A USAR.

2.4.7.2.1 Tipos de combustible.

a) **Combustibles Gaseosos.**- Los combustibles gaseosos, especialmente de los gases fríos y puros, tienen muchas ventajas sobre los combustibles líquidos y sólidos. Por esto se usa cada vez con más profusión, incluso cuando el coste por caloría excede ligeramente de otros combustibles.

b) **Combustibles líquidos.**- Los combustibles líquidos más comúnmente utilizados son el fuel-oíl y él adquirirán. La gasolina, el keroseno y el alcohol, son demasiados caros para ser considerados como combustibles para calentamiento industrial. Los combustibles líquidos ofrecen un cierto número de ventajas. Un líquido puede ser almacenado encima o debajo del suelo y en lugares apartados. Algunos combustibles líquidos no necesitan precalentamiento y están siempre en disposición de ser utilizados, como sucede con el gas natural. Con el combustible líquido no se dan las pérdidas por mantenimiento, que son inevitables con gasógenos, plantas de gas de agua, etc. El control de temperatura y atmósfera del horno no es afectado por razones ajenas a la voluntad del empresario, como ocurre con los procesos de fabricación de gas. Los combustibles líquidos se transportan fácilmente del depósito al horno y se quema sin dejar un residuo notable de cenizas.

c) **Combustibles sólidos.-** La madera, la turba y el carbón se utiliza como combustibles industriales desde hace cientos de años. El empleo de la madera, el carbón de leña y la turba disminuyo muy rápidamente cuando se desarrolló la minería del carbón en gran escala.

La palabra carbón abarca una gran variedad de combustibles sólidos, llamados lignito, carbón poco bituminoso, carbón rico en materias volátiles, antracita, grafito, carbón bituminoso y carbón pobre en materias volátiles.

Análisis.

Determinaremos que combustible es más apropiado en el proceso de fundición de cobre, desde un punto de vista económico, además este combustible deberá ser de una comercialización generalizada en el país.

Los combustibles que más se utilizan por sus propiedades y precio en los hornos de fundición son el diésel, y el gas licuado de petróleo. Por tanto nuestro análisis se centrará en estos combustibles.

En la tabla 12 se presenta los valores de densidad, poder calorífico, y calor de combustión inferior, de los combustibles objeto de nuestro análisis.

TABLA 12.

Tabla comparativa de energías entre el Diésel y el GLP.

FUENTE	DENSIDAD Kg/Lt	PODER CALORIFICO Kcal/Kg	CALOR DE COMBUSTIÓN INFERIOR KJ/ Kg
DIESEL	0.843	10877	42 600-43 200
GAS LICUADO DE PETROLEO	0.537	11951	46 000- 50 000

Fuente: Recuperado de: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0607.1981.pdf>

Según se observa en la tabla 12 se podría fácilmente caer en el error de suponer que el GLP, con sus 46 000 KJ / kg superaría energéticamente al diésel, mas sucede todo lo contrario, pues se requiere un mayor volumen de GLP para hacer el mismo recorrido que con el diésel. El rendimiento energético del GLP es aproximadamente un 70% del diésel.

Para una adecuada selección del combustible se hace necesario tener ciertas consideraciones más como son:

- El funcionamiento del horno será en forma intermitente,
- El aspecto económico, en el que se considera la vinculación de los costos de instalación necesarios para su almacenamiento, transporte y dosificación.

De acuerdo con el análisis nos planteamos dos alternativas que son de fácil disponibilidad en el mercado ecuatoriano:

a) Alternativa 1: Diésel.

b) Alternativa 2: Gas licuado de petróleo (GLP).

TABLA 13.

Consideraciones para elección de combustible

	Alternativa 1	Alternativa 2
Poder calorífico	7	9
Almacenamiento	9	8
Instalaciones	8	6
Transporte	9	6
Dosificación	8	7
Seguridad	8	5
TOTAL	49	41

Fuente: *Autor.*

Para el desarrollo de la tabla 13 y su valoración se ha considerado el grado de dificultad entre 1 a 10 puntos, en el cual los valores altos corresponden a propiedades de relativa facilidad, mientras que los valores bajos corresponden a cierta dificultad, el valor total reflejara la mejor opción para el desarrollo de la investigación.

Un aspecto muy importante es la seguridad ya que al trabajar con temperaturas sumamente altas se debe tomar muy en cuenta este parámetro. Al existir alguna fuga de combustible en el sistema podría auto inflamarse y así causar mucho daño en el operador como en el equipo. Es así que se compara los dos tipos de combustibles y se concluye que de existir fuga sea de calor o de combustible en este caso el Diésel se consume, pero al utilizar GLP que es un gas sumamente volátil al existir una fuga en el sistema de alimentación este podría explotar, o a su vez al sobrepasar la temperatura de 400°C, este se auto inflamaría, según las especificaciones de la tabla 14. Por lo tanto se determina que la opción más idónea para este sistema es la utilización de diésel como combustible.

TABLA 14.

Propiedades físicas y químicas del GLP.

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	
Aspecto: Gas licuado	pH: NP
Color: Incoloro	Olor: Característico, reforzado por derivados sulfurados.
Punto de ebullición: (-42.1 °C) - (3.7 °C)	Punto de fusión/congelación: NP
Punto de inflamación/Inflamabilidad: (-107.5 °C) - (-101.6 °C)	Autoinflamabilidad: >400 °C
Propiedades explosivas: Lim. inferior explosivo: 1.87 - 2.02% Lim. superior explosivo: 9.38 - 10.05%	Propiedades comburentes: NP
Presión de vapor: 10 - 14 Kg/cm ² a 37.8 °C	Densidad: 0.535 g/cm ³ min. a 15 °C (ASTM D1657)
Tensión superficial: 16 dinas/cm a -47 °C	Viscosidad:
Densidad de vapor: 1.5 (aire: 1) a 0 °C	Coef. reparto (n-octanol/agua): log K _{ow} : 2.36
Hidrosolubilidad: 0.0047% vol/vol	Solubilidad: (a 100°C) 10,5 - 11,5 cSt (ASTM D-445)
Otros datos: Azufre total: 150 ppm máx. Poder calorífico Neto: -10830 Kcal/Kg Olefinas totales: 58% (ASTM D2163) Residuo volátil (Tª evaporación 95% vol.): 2.2 °C máx.	

Fuente: Recuperado de: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec>

2.5. HIPÓTESIS.

El Estudio de Hornos de Fundición de Cobre, optimizará materia prima en laboratorio de materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

2.6. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES.

2.6.1. Variable Independiente

Estudio de Hornos de Fundición de Cobre y Aleaciones.

2.6.2. Variable Dependiente

Materia Prima del Laboratorio de Materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se realizó según las siguientes modalidades:

3.1.1. Investigación de campo

Dentro de la investigación de campo se estudió varios tipos de hornos de fundición de cobre que actualmente utilizan diversos laboratorios de las instituciones educativas de nuestro país. Se analizó también las condiciones físicas del área de trabajo donde se encuentra el horno de crisol basculante, para de esta manera garantizar su correcto desempeño, y sobre todo precautelar la seguridad tanto del operador como de la máquina.

Determinamos la cantidad de material existente en el Laboratorio de Materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, optimizamos este recurso en la realización de fundiciones y posterior análisis de las mismas así como la obtención de diferentes tipos de aleaciones hechos en los hornos de fundición existentes actualmente.

3.1.2. Investigación bibliográfica

Se tomaron teorías de varios autores, se basó en parámetros de investigaciones ya realizadas, y de todo lo referente a la fundición de Cobre y sus Aleaciones.

3.1.3. Investigación Experimental.

La investigación teórica se respaldó con la evaluación de los parámetros obtenidos en la práctica, los cuales al ser analizados arrojaron los resultados esperados.

3.2. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1. Investigación Descriptiva

Los estudios especificaron las características más importantes de cualquier fenómeno ocurrido en los diferentes tipos de hornos que fueron sometidos a la investigación.

Dichos estudios nos ayudaron a la selección de un horno adecuado el cual nos sirvió para optimizar la materia prima en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

3.2.2. Investigación Correlacional

El presente estudio estableció la correspondencia entre las variables impuestas y todas las teorías definidas.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población

Hornos de Fundición de Cobre y sus Aleaciones.

3.3.2. Muestra

Al tener una visión clara acerca de las ventajas y desventajas de los hornos de fundición de cobre y aleaciones, y tomando en cuenta que el objetivo principal fue optimizar materia prima en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, en base a los resultados en la ponderación de alternativas (Ver tabla 11 y 12) se pudo determinar como muestra un:

- Horno de Crisol Basculante con alimentación a Diésel.

3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

3.4.1. Variable Independiente: Estudio de Hornos de Fundición de Cobre y Aleaciones.

Conceptualización	Dimensiones	Ítems	Indicadores	Técnicas e instrumentos
<p>HORNOS DE FUNDICIÓN.- Son equipos que son utilizados para transformar el metal solido en metal líquido mediante un gradiente de temperatura.</p> <p>Se puede fundir varios tipos de metales no ferrosos como el cobre, aluminio, plata, etc., de los cuales se obtienen varias y diferentes aleaciones utilizando diversas fuentes de energía los cuales son los encargados de aumentar gradualmente la temperatura del metal hasta su</p>	<p>Hornos de fundición de metales mediante gradiente de temperatura.</p> <p>Energía con la que trabaja un horno de fundición</p>	<p>¿Qué tipo de hornos funden metales al incrementar su temperatura?</p> <p>¿Qué tipo de energía utiliza un horno de fundición?</p>	<p>Eléctrico Inducción Crisol</p> <p>Inducción Eléctrica Diésel Gas (GLP)</p>	<p>Bibliográfico</p> <p>Ficha de Observación</p>

<p>punto de fusión.</p> <p>El tipo de horno a utilizar dependerá del metal a fundir, así como la cantidad de carga, y de éstos el tiempo necesario para la fundición de metal.</p> <p>COBRE Y ALEACIONES.</p> <p>El cobre por ser un metal que puede fusionarse con otros metales para formar nuevas aleaciones debido a sus propiedades mecánicas, químicas, y estéticas, el cobre no se oxida fácilmente a condiciones atmosféricas normales.</p>	<p>Tipo de horno, cantidad de carga y tiempo en la fundición del cobre.</p> <p>Metal que puede fusionarse con otros metales para formar nuevas aleaciones.</p>	<p>¿Cuál es el tipo de horno, cantidad de carga y el tiempo de fundición adecuado para fundir cobre?</p> <p>¿Qué tipo de aleaciones se pueden obtener al combinar otro metal con el cobre?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Inducción. 5 Kg. 40 min. • Crisol 25 Kg. 65 min. • Bronce comercial (Cu-Al) • Latón. 	<p>Ficha de Observación</p> <p>Bibliográfico</p>
--	--	--	---	--

3.4.2. Variable Dependiente: Materia Prima de Laboratorio de Materiales.

Conceptualización	Dimensiones	Ítems	Indicadores	Técnicas e instrumentos
<p>MATERIA PRIMA DEL LABORATORIO DE MATERIALES.</p> <p>Dentro del estudio de la metalurgia se define materia prima a los elementos que se estudian en el laboratorio de materiales, a los cuales se aplican diversos métodos y/o tratamientos para sus correspondientes estudios y/o análisis.</p> <p>Los resultados de las fundiciones como por ejemplo el cobre y sus aleaciones son analizados dentro de un laboratorio para verificar sus propiedades.</p>	<p>Métodos de obtención de aleaciones base Cobre</p> <p>Resultados de la fundición de metales no ferrosos de base cobre.</p> <p>Análisis y ensayos de la fundición de metales no ferrosos de base cobre.</p>	<p>¿Qué método se tendrá que realizar para obtener aleaciones base cobre?</p> <p>¿Qué tipo de resultado obtenemos con el proceso de fundición?</p> <p>¿Qué tipo de estudio podemos aplicar a las fundiciones obtenidas?</p>	<p>Fundición</p> <p>Cantidad de materia prima:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Carga - Escoria <p>Análisis</p> <ul style="list-style-type: none"> - Micro estructural - Ensayo de dureza. - Ensayo Charpy. - Ensayo Tracción. - Análisis químico. 	<p>Ficha de Observación</p> <p>Ficha de Observación</p> <p>Ficha de Observación</p>

3.5. PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

En el presente proyecto se utilizó las siguientes técnicas e instrumentos de investigación:

TABLA 15.

Plan de recolección de información

Técnicas	Instrumentos
Observación directa	Ficha de Observación

Fuente: *Autor.*

Se estructuró una ficha de observación que nos permitió recolectar los procedimientos, datos y observaciones de cada una de las pruebas realizadas en los diferentes tipos de hornos para fundición de cobre.

3.6. PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Se realizó mediante una ficha de campo, se registró los datos más relevantes e importantes que permitieron el desarrollo normal de la investigación, y así evaluamos el correcto funcionamiento de la misma, siguiendo los siguientes parámetros:

- Revisamos críticamente la información recogida.
- Manejamos correctamente la información.
- Estudiamos todos los parámetros y datos obtenidos para la presentación de resultados.
- Analizamos e interpretamos los resultados obtenidos, los comparamos con cada definición establecida, y con los objetivos trazados.
- Establecimos conclusiones y recomendaciones acerca de la investigación realizada.

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

4.1. Análisis de resultados.

En este capítulo se describe los resultados obtenidos de las fundiciones, en dos tipos de hornos utilizados comúnmente para la fundición de cobre y sus aleaciones, como son el horno de crisol, y horno de inducción.

Se realizó pruebas de dureza, análisis metalográfico, ensayo Charpy (impacto), ensayo de tracción, y análisis químico, en cada una de las probetas producto de las fundiciones en los hornos mencionados, para determinar las propiedades adquiridas de la nueva aleación.

Los resultados obtenidos en los ensayos permitieron notar las diferentes características existentes entre las fundiciones hechas en cada uno de los hornos estudiados, posterior a ello se comparan los resultados con las diferentes tablas para constatar las propiedades de la aleación.

4.2. Interpretación de datos.

El cobre puro es muy difícil de encontrar en el mercado nacional, y su costo es elevado, por lo cual se utilizó cobre electrolítico y aluminio electrolítico para obtener la aleación bronce al aluminio, conocido también como bronce comercial por su alta calidad pues tiene un 90% de pureza y un 10 % de aluminio.

La fundición se vertió dentro de las cajas de moldeo que fueron construidas con arena verde la que mantuvo la forma de las probetas, y en un enfriamiento lento evitó que se produjera porosidades en la fundición, las cuales se producen debido a un enfriamiento demasiado rápido al exponerlo al medio ambiente. Las dimensiones de los moldes utilizados para sostener la fundición son sobre dimensionados pues de la

fundición obtenida se debe maquinar para obtener las probetas para los diferentes ensayos, los cuales arrojaron los resultados expuestos según las pruebas.

4.2.1. Prueba N.1.

Fecha: 11-07-13

Hora de inicio: 15:00









Hora de Finalización: 18:00

Calentamiento de un horno de crisol basculante, sin carga.

El color del crisol varía de acuerdo al incremento de temperatura el cual se muestra desde el estado original del crisol hasta el estado en el cual el material a fundir toma la temperatura adecuada para su trabajo, así como lo podemos observar en la tabla 16, la cual fue debidamente comprobada con la utilización de un pirómetro al realizar las pruebas en los hornos de fundición.

TABLA 16.

Variación del color del crisol en relación la temperatura



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

Elaborado: *Autor.*

En la tabla 17 se recopilieron datos de tiempo, temperatura y cantidad de combustible utilizado sin ningún tipo de carga, con la finalidad de establecer dichos parámetros.

TABLA. 17

Medición de Temperaturas, tiempo y cantidad de combustible en el horno de crisol basculante de capacidad 60 Kg., con alimentación a Diésel, sin carga.

 UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA CARRERA EN INGENIERIA MECANICA 				
Lugar de ensayo:	Laboratorio de soldadura/FICM-UTA		Fecha: 11-07-13	
Tipo de horno:	Crisol basculante		T. ambiente: 20 °C	
Fuente de energía:	Diésel		Capacidad máxima de carga: 60 Kg.	
Realizado por:	Byron Chango		Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín	
Número de mediciones	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Cantidad de combustible (Gal)	Color del crisol
1	0	20	0.00	GRIS
2	15	60	1.25	GRIS
3	30	97.5	2.50	PLOMO
4	45	135	3.75	PLOMO
5	60	173	5.00	ROJO OSCURO
6	75	210	6.25	ROJO OSCURO
7	90	285	7.50	ROJO OSCURO 70%, TENUE 30%
8	105	323	8.75	ROJO OSCURO 90%, TENUE 10%
9	120	361	10.00	ROJO TENUE
10	135	399	11.25	ROJO TENUE
11	150	440	12.50	ROJO TENUE
12	165	480	13.75	ROJO TENUE
13	180	540	15.00	ROJO TENUE 70%, CEREZA OSCURO 30%

Fuente: *Autor*

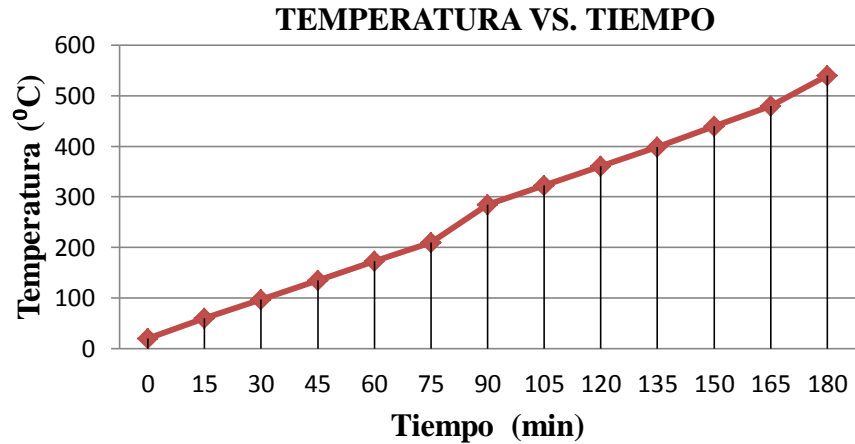


FIGURA 10. Curva de dispersión Temperatura Vs. Tiempo (Horno sin carga)

Fuente: *Autor*

Se realizó la lectura de temperaturas de intervalos de una hora, obteniendo la siguiente grafica la cual indica el funcionamiento del horno de crisol sin carga alguna.

El resultado muestra un incremento de temperatura de forma retardada partiendo de los 20 °C llegando a 170 °C, en 60 minutos, y hasta los 540 °C aproximadamente en 3 horas.

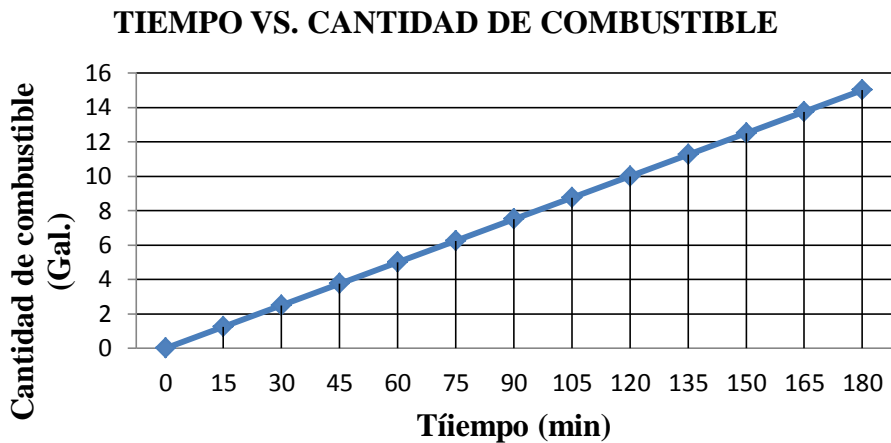


FIGURA 11. Curva de dispersión Tiempo Vs. Cantidad de Combustible (sin carga)

Elaboración: *Autor*.

La gráfica Tiempo vs. Cantidad de Combustible evidencia que el horno trabajó con una relación de gasto de combustible de 5 galones por cada hora, en funcionamiento continuo.

4.2.1.1. Resultados de la prueba 1.

El tiempo de calentamiento del horno fue de 3 horas llegando hasta una temperatura de 540 °C, con un consumo total de 15 galones de combustible diésel. De acuerdo la tabla 17.

Se observa las características del crisol durante los parámetros alcanzados en la prueba 1, según especifica la tabla 16, obtuvo un color entre rojo tenue y cereza oscura, al llegar a la temperatura máxima de 540 °C, la cual no es suficiente para poder llegar al punto de fusión del cobre.

Dicho esto entonces se deduce que el horno tiene demasiadas pérdidas de calor, por ello se determina que se debe trabajar con mayor cantidad de tiempo y combustible que el realizado en la prueba 1 para llegar a la temperatura de fusión del cobre.

4.2.2. Prueba N.2.

Fecha: 18-07-13

Hora de inicio: 10:00



Hora de Finalización: 17:00

Calentamiento de un horno de crisol basculante, sin carga.

Los resultados de la prueba 1, indican que por tiempo restringido de uso del laboratorio no se completó la práctica de fundición, por lo cual para esta prueba hemos iniciado a hacerla en horas de la mañana, la tabla 18 recopila los datos de tiempo, temperatura y cantidad de combustible utilizado sin ningún tipo de carga, con la finalidad de establecer dichos parámetros.

TABLA. 18.

Medición de Temperaturas, tiempo y cantidad de combustible en el horno de crisol basculante de capacidad 60 Kg, con alimentación a Diésel, sin carga.

 UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA CARRERA EN INGENIERIA MECANICA 				
Medición de Temperaturas, tiempo y cantidad de combustible, sin ningún tipo de carga.				
Lugar de ensayo:	Laboratorio de soldadura/FICM-UTA			
Fecha:	18-07-13	T. ambiente: 20 °C		
Tipo de horno:	Crisol basculante	Fuente de energía: Diésel	Capacidad máxima de carga: 60 Kg.	
Realizado por:	Byron Chango	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín L.		
Número de mediciones	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Cantidad de combustible (Gal)	Color del crisol
1	0	20	0.00	GRIS
2	30	95	2.50	PLOMO
3	60	160	5.00	ROJO OSCURO
4	90	288	7.50	ROJO OSCURO 70%, TENUE 30%
5	120	365	10.00	ROJO TENUE
6	150	455	12.50	ROJO TENUE
7	180	534	15.00	ROJO TENUE 70%, CEREZA OSCURO 30%
8	210	611	17.50	CEREZA OSCURO
9	240	695	20.00	CEREZA OSCURO
10	270	740	22.50	CERZA SUBIDO
11	300	798	25.00	CEREZA SUBIDO
12	330	840	27.50	NARANJA OSCURO
13	360	890	30.00	NARANJA OSCURO

Fuente: *Autor.*

Se realizó la lectura de temperaturas en intervalos de treinta minutos, obteniendo la gráfica que indica el funcionamiento del horno de crisol sin carga alguna, muestra un incremento de temperatura de forma retardada partiendo de los 20°C llegando a 160 °C, en 60 minutos, y hasta los 890°C aproximadamente en 6 horas.

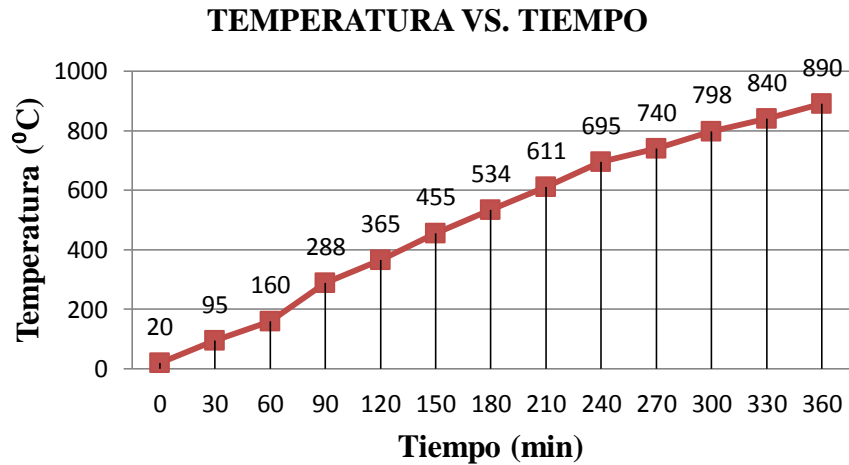


FIGURA 12. Curva de dispersión Temperatura Vs. Tiempo (sin carga)

Fuente: *Autor*.

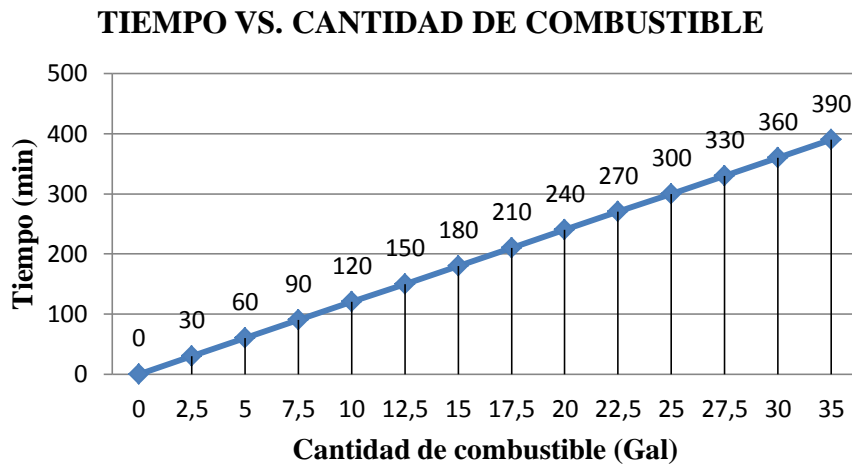


FIGURA 13 Curva de dispersión Tiempo Vs. Cantidad de Combustible (sin carga) en funcionamiento continuo.

Fuente: *Autor*

4.2.2.1. Resultados de la prueba 2.

El tiempo de calentamiento del horno fue de 6 horas llegando hasta una temperatura de 890 °C, con un consumo total de 35 galones de combustible diésel, de acuerdo a la tabla 18.

El color del crisol varía de acuerdo al grado de temperatura, el cual se muestra en la tabla 16, se observa las características del crisol durante los parámetros alcanzados en la prueba 2, obtuvo un color naranja oscuro, en un tiempo de 360 minutos al llegar la temperatura máxima de 890 °C, temperatura a la cual no es suficiente para poder llegar al punto de fusión total del cobre, a pesar del tiempo y gasto de combustible empleados no se alcanza los 1085°C.

Se concluye que el equipo se utiliza para la fundición de metales de menor punto de fusión como por ejemplo el aluminio, zinc, entre otros, mas no es utilizado en la fundición de cobre. Se determina también que el horno tiene demasiadas pérdidas de calor, motivo por el cual tarda demasiado tiempo en alcanzar temperaturas altas.

4.2.3. Prueba N.3.

Fecha: 10-08-13

Hora de inicio: 9:30

Hora de Finalización: 11:00



Fundición de aleación bronce al aluminio en un horno de crisol fijo.

Al no obtener los resultados deseados en las pruebas 1 y 2, se busca otra alternativa como la fundición en una metalúrgica profesional, se visitaron varias metalúrgicas de la provincia, entre ellas Fundiciones Tirado, Fundiciones Láser, y Metalúrgica Tungurahua, las cuales realizan trabajos de fundición de metales en cantidades mayores a 60 Kg, por lo tanto económicamente no fue factible realizar la fundición en una de ellas.

La producción artesanal de campanas, pailas, y entre otros objetos de bronce es otra alternativa, es así que en ella se encuentra el respaldo esperado a la presente investigación, obteniendo la fundición deseada siguiendo los parámetros mencionados en la tabla 19.

TABLA. 19

Medición de Temperaturas, tiempo y estado de la carga en el proceso de fundición en un horno crisol con capacidad de 25 Kg.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA EN INGENIERÍA MECÁNICA 					
Medición de Temperaturas, tiempo y estado de la carga.					
PRUEBA		3			
Lugar de ensayo:		Taller Artesanal	Fecha: 10/08/2013		
Tipo de horno:		Crisol Fijo	Temperatura: 20 °C		
Fuente de energía:		GLP	Tipo de crisol: A 25	Capacidad de carga: 25 Kg.	
Realizado por:		Byron Chango			
Numero de mediciones	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Cantidad de carga de Cu (Kg)	Cantidad de carga de Al (Kg)	Estado de la carga
1	0	20	X	X	X
2	15	294	18	X	SOLIDO
3	30	588	18	X	SOLIDO
4	45	900	18	X	SOLIDO-LIQUIDO
5	55	1000	18	X	LIQUIDO
6	57	1000	X	2	SOLIDO-LIQUIDO
7	65	1100	X	2	LIQUIDO
OBSERVACIONES: Al incorporar el aluminio en estado sólido en cobre líquido existe una reacción exotérmica provocando una elevación brusca de temperatura, este tiempo no se lo considera por ser demasiado corto.					

Fuente: *Autor*

La figura 14 muestra el tiempo que se demoró en fundir el total de carga en relación a la temperatura deseada.

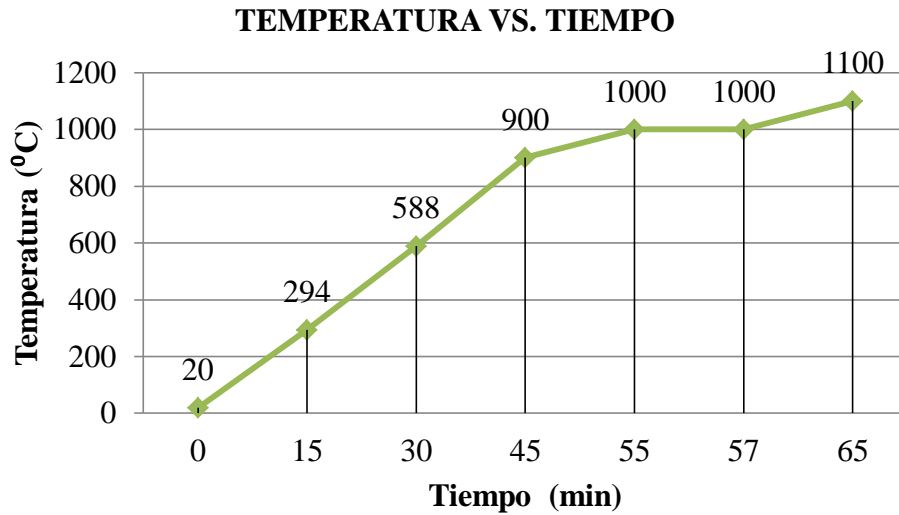


FIGURA 14. Curva de dispersión Temperatura Vs. Tiempo (con carga)
Elaboración: Autor.

4.2.3.1 Resultados de la prueba 3. .

En la prueba 3, alcanzamos el objetivo deseado el cual fue fundir el cobre y desarrollar la aleación de un Bronce al aluminio.

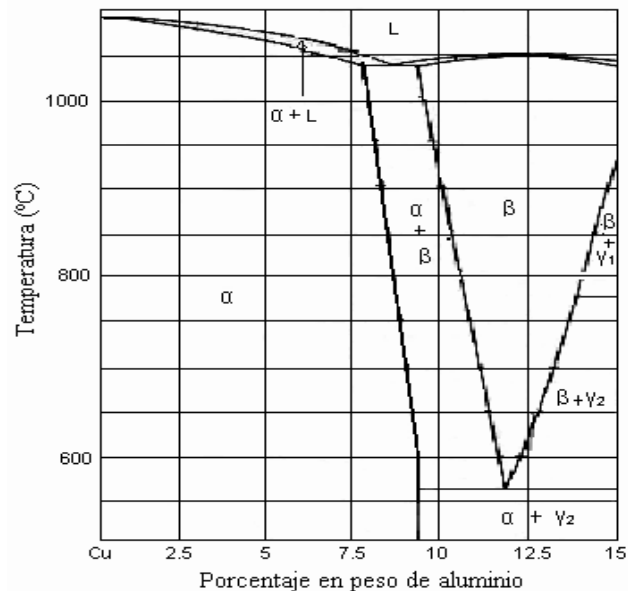


FIGURA 15. Diagrama de equilibrio de una aleación Bronce al Aluminio
Fuente: SHACKELFORD J. (2007). *Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros*, 4^{ta} Edic.

El horno utilizado fue un horno de crisol fijo con alimentación a gas (GLP), con un crisol de capacidad de 25 Kg, utilizado comúnmente para la fabricación de campanas.

El cobre electrolítico utilizado para la aleación se fundió al alcanzar la temperatura de 1085°C, inmediatamente a esto agregamos 2,5 Kg. de aluminio para conseguir la aleación, creando así una reacción exotérmica pues el aluminio al tener un grado de fusión más bajo tiende a evaporarse y a formar escoria en bajas cantidades.

TABLA 20.

Análisis metalográficos de la prueba 3.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA EN INGENIERÍA MECÁNICA			
REGISTRO DE DATOS			
N. de Probeta.	3	Norma utilizada: ASTM 112-10	
Lugar de ensayo:	Laboratorio de materiales/FICM-UTA		
Fecha:	05/09/2013	Temperatura ambiente: 20 °C	
Realizado por:	Byron Chango	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín L.	
ANÁLISIS METALOGRAFICO			
Especificación de material:	Bronce al aluminio	Proceso de obtención de la muestra:	GRÁFICA DE LA MUESTRA
Medida de la probeta	Diámetro: ¾ in. Longitud: ½ in	Fundición Torno Tratamiento térmico: Ninguno	
RESULTADOS:	Microestructura Prueba 3 a 200X Reactivo químico: (20 gr de FeCl ₃ , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO ₂ , y 100 ml de agua destilada). Tiempo: 15 segundos.		
GRÁFICA	<p>De acuerdo al diagrama de equilibrio de la figura 15, esta aleación está conformada por varias fases: α, β, $\gamma 1$, $\gamma 2$, y k, como se observa en la figura.15. La máxima solubilidad del aluminio en la fase α sólida es aproximadamente del 9.5% a 565°C, a esta misma temperatura la fase β sufre una reacción eutectoide para formar la mezcla ($\alpha+\gamma 2$).</p>		
OBSERVACIONES:			

Elaborado: *Autor.*

4.2.3.1.1 Ensayo de dureza.

Para determinar la dureza de la aleación se utilizó el durómetro existente en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, en el desarrollo del ensayo se toma en cuenta la norma ASTM E-18, con escala de dureza Brinell. Utilizando una carga de 612 N., esfera de 2,5 mm

TABLA 21.

Ensayo de Dureza Brinell en probeta fundida en un horno de crisol.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA EN INGENIERÍA MECÁNICA 			
REGISTRO DE DATOS			
N. de Probeta.	3	Norma utilizada: ASTM E-18	
Lugar de ensayo:	Laboratorio de materiales/FICM-UTA		
Fecha:	09/09/2013	Temperatura ambiente: 20 °C	
Realizado por:	Byron Chango	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín L.	
ENSAYO DE DUREZA BRINELL			
Especificación de material:	Bronce al aluminio	Proceso de obtención de la muestra:	Fundición Fresa
Medida de la probeta	Ancho: 1 cm Longitud: 5cm	Tratamiento térmico:	Ninguno
			MUESTRA 
RESULTADOS:	Nº DE MEDIDAS	DUREZA BRINELL	
	1	135	
	2	135	
	3	134	
	4	133	
	5	135	
	6	136	
	7	137	
	8	135	
	9	135	
	10	134	
	PROMEDIO	134.9	
		GRÁFICA DEL ENSAYO  	

Elaborado: *Autor*

TABLA 22.



Ensayo Charpy en probeta fundida en un horno de crisol.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA EN INGENIERÍA MECÁNICA			
REGISTRO DE DATOS			
N. de Probeta.	3	Norma utilizada: ASTM E23-02a	
Lugar de ensayo:	Laboratorio de materiales/FICM-UTA		
Fecha:	09/09/2013	Temperatura ambiente: 20 °C	
Realizado por:	Byron Chango	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín L.	
ENSAYO CHARPY			
Especificación de material:	Bronce al Aluminio	Proceso de obtención de la muestra:	GRÁFICA DE LA MUESTRA
Medida de la probeta	Ancho: 1 cm	Fundición Fresa	
	Altura: 1 cm Longitud: Angulo: 45°	Tratamiento térmico: Ninguno	
RESULTADOS	La energía de fractura en el ensayo Charpy Fue de 15 Joule. o de su equivalente 1.53 Kg * m.		
	GRÁFICA DEL ENSAYO 		

Elaborado: Autor.

TABLA 23.

Ensayo de Tracción en probeta fundida en un horno de crisol.

 UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA EN INGENIERÍA MECÁNICA 																																																																																															
REGISTRO DE DATOS																																																																																															
N. de Probeta.	3	Norma Utilizada: ASTM E-18M																																																																																													
Lugar de ensayo:	Laboratorio de materiales/FICM-UTA																																																																																														
Fecha:	09/09/2013	Temperatura ambiente: 20 °C																																																																																													
Realizado por:	Byron Chango	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín L.																																																																																													
ENSAYO DE TRACCIÓN																																																																																															
Especificación de material:		Bronce al aluminio																																																																																													
		Proceso de obtención de la muestra:	Fundición Torno																																																																																												
		Tratamiento térmico:	Ninguno																																																																																												
		Porcentaje de Alargamiento (%):																																																																																													
		$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100$ $\varepsilon = \frac{60.775 - 50.8}{50.8} * 100$ $\varepsilon = 19.63 \%$																																																																																													
		Porcentaje de reducción de Área (%):																																																																																													
		$\% \text{ de Reduccion} = \frac{A_0 - A_f}{A_f} * 100$ $\% \text{ de Reduccion} = \frac{128.68 - 127.76}{127.76} * 100$ $\% \text{ de Reduccion} = 0.72 \%$																																																																																													
		Resistencia última a la tracción																																																																																													
		$S_{ut} = \frac{F_{max}}{A_0}$ $S_{ut} = \frac{5720 \text{ Kg}}{126.68 \text{ mm}^2}$ $S_{ut} = 45.154 \text{ Kg mm}^2$																																																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Medido</th> <th colspan="3">Calculado</th> </tr> <tr> <th>Carga (Kg)</th> <th>Longitud Calibrada (mm)</th> <th>Esfuerzo (Kg/mm²)</th> <th>Deformación (mm/mm x10⁻³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>50.800</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>500</td><td>51.400</td><td>3.947</td><td>11.811</td></tr> <tr><td>800</td><td>51.850</td><td>6.315</td><td>20.669</td></tr> <tr><td>1200</td><td>52.375</td><td>9.473</td><td>31.004</td></tr> <tr><td>1500</td><td>53.000</td><td>11.841</td><td>43.307</td></tr> <tr><td>1700</td><td>53.350</td><td>13.420</td><td>50.197</td></tr> <tr><td>2000</td><td>53.950</td><td>15.788</td><td>62.008</td></tr> <tr><td>2300</td><td>54.475</td><td>18.156</td><td>72.343</td></tr> <tr><td>2600</td><td>55.000</td><td>20.525</td><td>82.677</td></tr> <tr><td>3000</td><td>55.625</td><td>23.682</td><td>94.980</td></tr> <tr><td>3200</td><td>56.050</td><td>25.261</td><td>103.346</td></tr> <tr><td>3300</td><td>56.255</td><td>26.050</td><td>107.382</td></tr> <tr><td>3600</td><td>57.000</td><td>28.419</td><td>122.047</td></tr> <tr><td>4000</td><td>57.805</td><td>31.576</td><td>137.894</td></tr> <tr><td>4500</td><td>58.550</td><td>35.523</td><td>152.559</td></tr> <tr><td>4700</td><td>58.775</td><td>37.102</td><td>156.988</td></tr> <tr><td>5000</td><td>59.300</td><td>39.470</td><td>167.323</td></tr> <tr><td>5200</td><td>59.725</td><td>41.049</td><td>175.689</td></tr> <tr><td>5500</td><td>60.250</td><td>43.417</td><td>186.024</td></tr> <tr><td>5720</td><td>60.775</td><td>45.154</td><td>196.358</td></tr> <tr> <td>Área (mm²)</td> <td>126.68</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Medido	Calculado			Carga (Kg)	Longitud Calibrada (mm)	Esfuerzo (Kg/mm ²)	Deformación (mm/mm x10 ⁻³)	0	50.800	0	0	500	51.400	3.947	11.811	800	51.850	6.315	20.669	1200	52.375	9.473	31.004	1500	53.000	11.841	43.307	1700	53.350	13.420	50.197	2000	53.950	15.788	62.008	2300	54.475	18.156	72.343	2600	55.000	20.525	82.677	3000	55.625	23.682	94.980	3200	56.050	25.261	103.346	3300	56.255	26.050	107.382	3600	57.000	28.419	122.047	4000	57.805	31.576	137.894	4500	58.550	35.523	152.559	4700	58.775	37.102	156.988	5000	59.300	39.470	167.323	5200	59.725	41.049	175.689	5500	60.250	43.417	186.024	5720	60.775	45.154	196.358	Área (mm ²)	126.68				
Medido	Calculado																																																																																														
Carga (Kg)	Longitud Calibrada (mm)	Esfuerzo (Kg/mm ²)	Deformación (mm/mm x10 ⁻³)																																																																																												
0	50.800	0	0																																																																																												
500	51.400	3.947	11.811																																																																																												
800	51.850	6.315	20.669																																																																																												
1200	52.375	9.473	31.004																																																																																												
1500	53.000	11.841	43.307																																																																																												
1700	53.350	13.420	50.197																																																																																												
2000	53.950	15.788	62.008																																																																																												
2300	54.475	18.156	72.343																																																																																												
2600	55.000	20.525	82.677																																																																																												
3000	55.625	23.682	94.980																																																																																												
3200	56.050	25.261	103.346																																																																																												
3300	56.255	26.050	107.382																																																																																												
3600	57.000	28.419	122.047																																																																																												
4000	57.805	31.576	137.894																																																																																												
4500	58.550	35.523	152.559																																																																																												
4700	58.775	37.102	156.988																																																																																												
5000	59.300	39.470	167.323																																																																																												
5200	59.725	41.049	175.689																																																																																												
5500	60.250	43.417	186.024																																																																																												
5720	60.775	45.154	196.358																																																																																												
Área (mm ²)	126.68																																																																																														

Elaborado: Autor

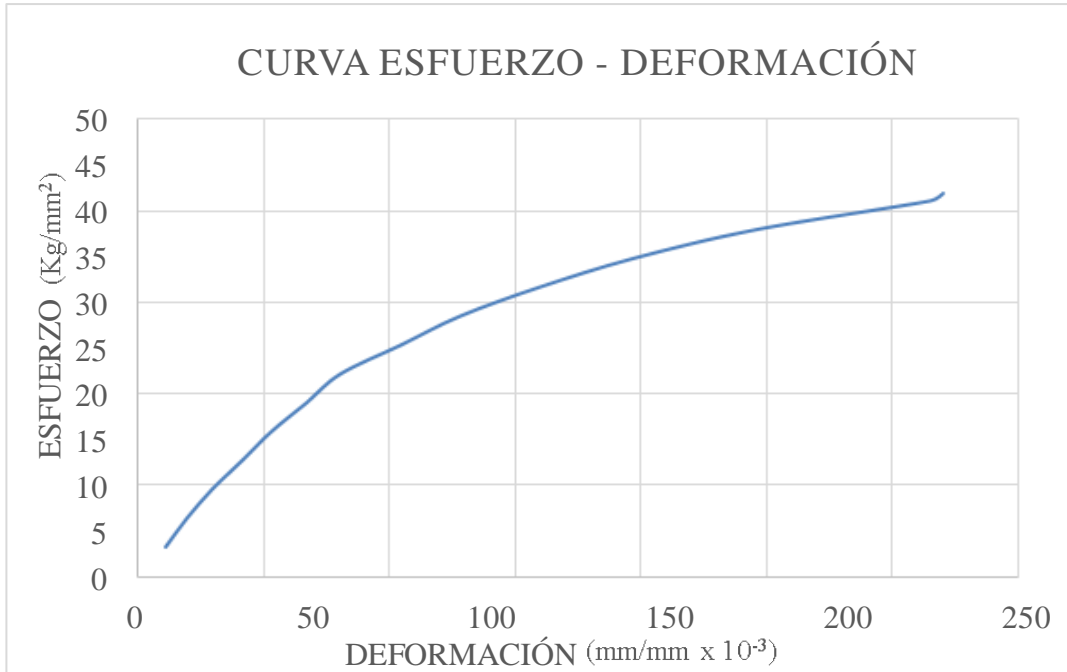



FIGURA 16. Curva Esfuerzo-Deformación de una aleación bronce al aluminio.
Fuente: *Autor*

TABLA 24.

Análisis químico en probeta fundida en un horno de crisol.

 LABORATORIO DE CALIDAD	
INFORME DEL ENSAYO DE COMPOSICION QUÍMICA DE MUESTRAS	
FECHA:	01/10/2013
OPERADOR:	EDUARDO VILLEGAS
MAQUINA:	ESPECTRÓMETRO DE RAYOS X EDX-720
CANAL DE ENSAYO:	ENERGY TEST
MUESTRA:	M1
QUANTITATIVE RESULT	
ANALYTE	RESULT (STD.DEV.) PROC. CALC. LINE
Cu	86.320% 0.065 QUAN-FP CuKa
Al	6.980% 0.052 QUAN-FP AlKa
Pb	0.039% 0.032 QUAN-FP PbLb1
Ca	0.363% 0.009 QUAN-FP CaKa
Ra	0.200% 0.011 QUAN-FP RaLa

Fuente: *Laboratorio de control de Calidad, Acería Novacero*

El análisis químico realizado en la muestra obtenida en la prueba 3, da como resultado el porcentaje de todos los elementos químicos existentes en la misma, de la cual se observa que el componente predominante es el cobre con un porcentaje del 86.32%, y el aluminio con el 6.98%.

Ahora bien: el material utilizado es cobre electrolítico y aluminio electrolítico, quiere decir entonces que las muestras poseen cierta cantidad de otros componentes como el plomo, calcio, y radio, deducimos entonces que el material ingresado al momento de la fundición estuvo ya con estos elementos.

El desarrollo de la fundición se realizó con un 90% de cobre y se agregó un 10% de aluminio, la tabla 24 indica que el porcentaje de aluminio es del 6.98%, cierta parte del porcentaje faltante se pierde en la reacción producida al introducir este material en cobre líquido que por diferencia de temperaturas este se evaporó, el resto fue desechado por la formación de escoria junto con cierto porcentaje de cobre como apreciamos en la misma tabla.

4.2.4 Prueba N.4.

Fecha: 27-08-13

Hora de inicio: 15:00

Hora de Finalización: 15:45



Calentamiento de un horno de Inducción, sin carga.

Para la realización de la prueba 4, utilizamos el horno de Inducción existente en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

En la tabla 25 se recopilan los datos de tiempo, y temperatura, sin ningún tipo de carga en un horno de inducción de capacidad de 5 kg, los mismos que nos ayudaran a establecer parámetros necesarios para llegar a los 1085 °C, temperatura de fusión del cobre.

TABLA 25.

Medición de Temperaturas, y tiempos de calentamiento en un horno de inducción. (Sin carga)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA EN INGENIERÍA MECÁNICA 			
Medición de Temperaturas, y tiempo, sin carga en horno de inducción			
Prueba	4		
Lugar de ensayo:	Laboratorio de Materiales/FICM-UTA		
Fecha:	27/08/2013	Temperatura ambiente: 20 °C	
Tipo de horno:	INDUCCION	Capacidad de carga: 5 Kg.	
Realizado por:	Byron Chango	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín L.	
Numero de mediciones	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Color del crisol
1	0	20	GRIS
2	5	108	ROJO OSCURO
3	10	245	ROJO OSCURO
4	15	388	ROJO TENUE
5	20	605	ROJO TENUE 90%, CEREZA OSCURO 10%
6	25	763	CEREZA SUBIDO
7	30	955	NARANJA
8	35	1100	AMARILLO

Elaborado: *Autor.*

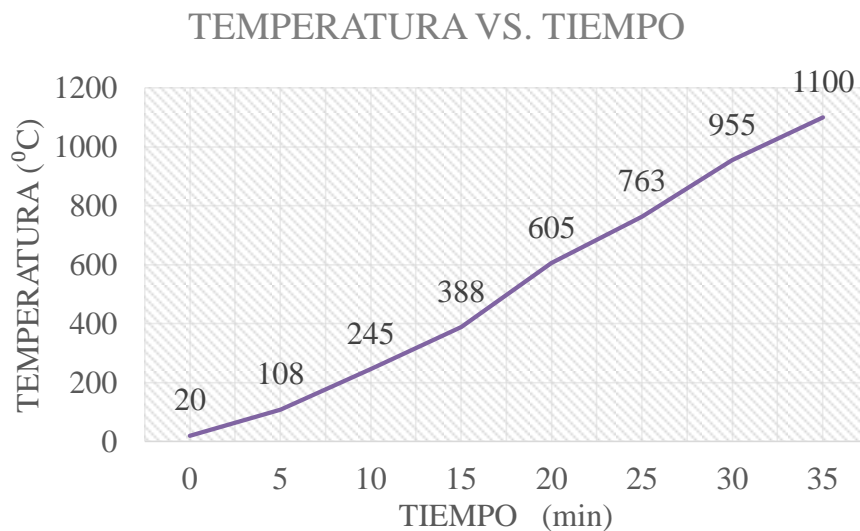


FIGURA 17. Curva de dispersión Temperatura Vs. Tiempo (sin carga), realizado en el Horno De Inducción de la FICM de la UTA.

Elaboración: *Autor*

4.2.4.1 Resultados de la prueba 4.

La Fig. 17, indica los parámetros de tiempo y temperatura realizados en el funcionamiento del horno de inducción el mismo que sin carga alguna llega a la temperatura de 1085 °C en 35 minutos.

Observamos que el color del crisol varía de acuerdo al grado de temperatura, el mismo que notamos que se incrementa aceleradamente hasta llegar a la temperatura requerida de acuerdo a la tabla 6.

4.2.5. Prueba N.5

Fecha: 03/09/2013

Hora de inicio: 15:00

Hora de Finalización: 15:45

Fundición de la aleación Bronce al Aluminio en horno de Inducción.

Para la obtención de la aleación de un Bronce al Aluminio nos basamos en los datos obtenidos en la tabla 25, pero esta vez la realizaremos ya con carga, obteniendo los resultados según la tabla 26.

La figura 18 indica los parámetros obtenidos de tiempo y temperatura durante el funcionamiento del horno de inducción, en el cual se observa que el cobre introducido se funde totalmente al tomar una temperatura de 1100⁰C, en un tiempo de 38 minutos, teniendo el cobre en estado líquido, se procede a ingresar el aluminio el cual provoca una reacción exotérmica y eleva la temperatura a 1140⁰C tan solo en 2 minutos, tiempo el cual se demoró fundir por completo el aluminio, es así que se logra cumplir con el objetivo propuesto que fue llegar a la obtención de la fundición de una aleación de Bronce al Aluminio en un tiempo idóneo de 40 minutos, según se manifiesta tanto en la tabla 26 como en la figura 18, en las cuales se determina la temperatura en diferentes los tiempos de fundición.

TABLA 26.

Medición de Temperaturas, y tiempos en el proceso de fundición en el horno de inducción del Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA EN INGENIERÍA MECÁNICA 					
Medición de Temperaturas, tiempo y estado de la carga.					
PRUEBA		5			
Lugar de ensayo:		Laboratorio de Materiales/FICM/UTA.			
Fecha:		10/08/2013	Temperatura ambiente: 20 °C		
Tipo de horno:		Inducción	Tipo de crisol: A 5	Capacidad de carga: 5 Kg.	
Realizado por:		Byron Chango	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín L.		
Numero de mediciones	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Cantidad de carga de Cu (Kg)	Cantidad de carga de Al (Kg)	Estado de la carga
1	0	20	4.05	X	SOLIDO
2	15	475	4.05	X	SOLIDO
3	30	880	4.05	X	SOLIDO Cu – LIQUIDO Cu
4	35	1010		0.45	LIQUIDO
5	38	1100			SOLIDO Al - LIQUIDO Cu
6	40	1140			LIQUIDO
OBSERVACIONES:		El tiempo de fundición del aluminio es de dos minutos. La temperatura es medida con un pirómetro y llega a los 1140 °C.			

Elaborado: Autor

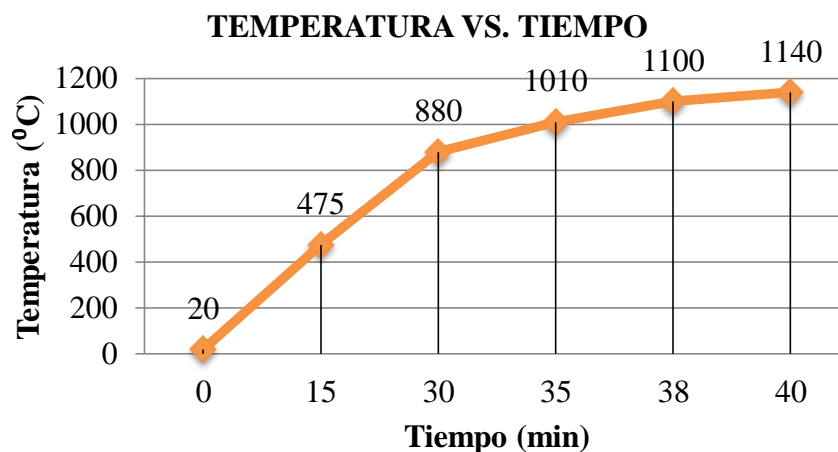


FIGURA 18. Curva de dispersión Temperatura Vs. Tiempo, durante el proceso de fundición en un horno de Inducción de la FICM de la UTA.

Elaboración: Autor.

4.2.5.1. Resultados de la prueba 5. .

Al trabajar en el horno de Inducción del laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, el cual ocupa un crisol de capacidad de 5 Kg en la prueba 4, se alcanza el objetivo deseado el cual fue fundir el material y desarrollar la aleación de un Bronce al Aluminio, en un tiempo estimado de 40 minutos.




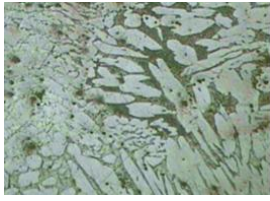
El cobre se lo deposito en estado sólido, el mismo que se fundió en su totalidad al alcanzar una temperatura de 1085°C, el cual fue determinado con la utilización de un pirómetro y llego a la temperatura deseada en un tiempo de 38 minutos, obtenido ya el cobre en estado líquido agregamos el aluminio para conseguir la aleación, al realizar este proceso se crea una reacción exotérmica producida al introducir un metal de un grado de fusión más bajo en otro metal líquido a alta temperatura pues este va a fundirse muy rápido provocando la evaporación del mismo, y creando también escoria producida por algún material contaminante que se introdujo al momento de la fundición, completando la aleación deseada pero en un porcentaje no adecuado. El crisol al no tener la suficiente capacidad de soportar toda la carga del aluminio en una sola entrada, se la hace de manera continua obteniendo de esta manera la aleación en un tiempo total de 40 minutos.

Con el fin de establecer las propiedades mecánicas de la fundición realizada mediante la optimización de materiales en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato y como complemento de la investigación se realizó los siguientes ensayos:

- Dureza
- Ensayo Charpy
- Análisis metalográficos
- Ensayo de tracción
- Análisis químico

TABLA 27.

Análisis metalográfico de la fundición obtenida en la prueba 5, realizada en un horno de inducción del Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA EN INGENIERÍA MECÁNICA			
REGISTRO DE DATOS			
N. de Probeta.	5	Norma utilizada: ASTM E112-10	
Lugar de ensayo:	Laboratorio de materiales/FICM-UTA		
Fecha:	05/09/2013	Temperatura ambiente: 20 °C	
Realizado por:	Byron Chango	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín L.	
ANÁLISIS METALGRÁFICO FUNDICIÓN EN HORNO DE INDUCCIÓN			
Especificación de material:	Bronce al aluminio	Proceso de obtención de la muestra:	Fundición Torno
Medida de la Probeta	Diámetro: ¾ in. Longitud: ½ in	Tratamiento térmico:	Ninguno
		GRÁFICA DE LA MUESTRA 	
RESULTADOS:	Según lo especificado en el diagrama de fase de la figura 19, indica que la fase α es una fase dúctil apropiada para trabajar en frío, la fase β es más dura y resistente y puede ser trabajada en caliente. A 565°C la fase β se transforma en γ_2 , la cual tiene características que la hacen ser no deseada con respecto a las propiedades mecánicas pues es la que la hace frágil, en las fundiciones realizadas se logra llegar a fase γ_2 .		
Observada a 200X, y atacada con reactivo Químico (20 gr de FeCl ₃ , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO ₂ , y 100 ml de agua destilada) durante 15 segundos.			

Elaborado: *Autor.*

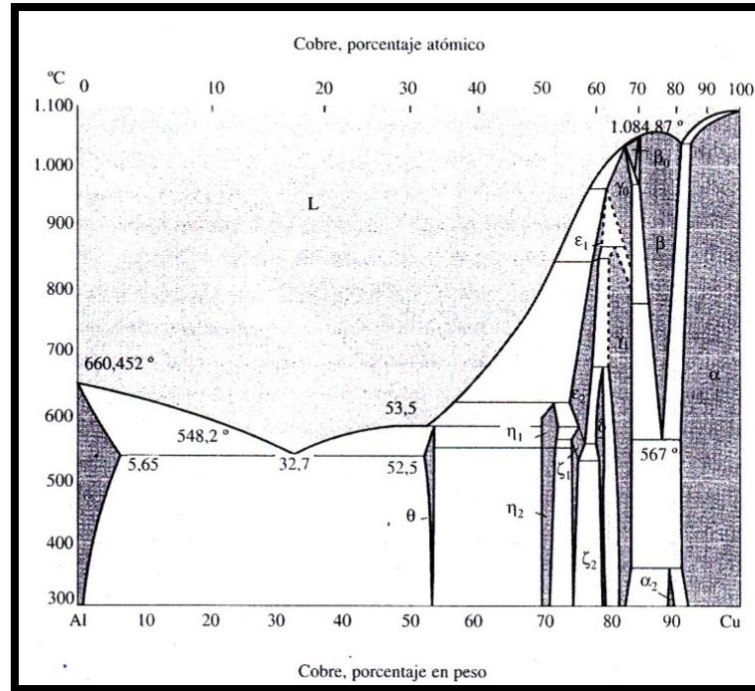


FIGURA 19. Diagrama de fase Cobre Aluminio
 Fuente: SHACKELFORD J. (2007). *Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros*, 4^{ta} Edic. Editorial Printice Hall, pág. 204.

4.2.5.1.1 Ensayo de dureza.

La dureza del material es la resistencia que opone a la penetración de un cuerpo más duro, para determinar la dureza de la aleación se utilizó una esfera de 2.5 mm de diámetro, un durómetro existente en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, con una carga de 612 N. se trabajó con una probeta obtenida de la fundición realizada con especificaciones de 1 cm de ancho, por 1 cm de altura y 5 cm de longitud según se especifica en la norma ASTM E-18, con escala de dureza Brinell.

TABLA. 28.

Ensayo de Dureza Brinell en probeta fundida en un horno de Inducción.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA EN INGENIERIA MECÁNICA 			
REGISTRO DE DATOS			
N. de Probeta.	5	Norma Utilizada: ASTM E-18	
Lugar de ensayo:	Laboratorio de materiales/FICM-UTA		
Fecha:	09/09/2013	Temperatura ambiente: 20 °C	
Realizado por:	Byron Chango	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín L.	
ENSAYO DE DUREZA BRINELL DE FUNDICIÓN EN HORNO DE INDUCCIÓN			
Especificación de material:	Bronce al aluminio	Proceso de obtención de la muestra:	Fundición Fresa
Medida de la probeta	Ancho: 1 cm Longitud: 5cm	Tratamiento o térmico:	Ninguno
			
	Nº DE MEDIDAS	DUREZA BRINELL	GRÁFICA DEL ENSAYO
RESULTADOS	1	140	
	2	138	
	3	138	
Esfera: 2.5 mm de Diámetro. Carga :612 N	4	139	
	5	138	
	6	140	
	7	138	
	8	137	
	9	139	
	10	138	
	PROMEDIO	138.5	

Elaborado: Autor.

TABLA. 29.

Ensayo de Impacto en probeta fundida en un horno de inducción de la FICM de la UTA.

 UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA CARRERA EN INGENIERIA MECANICA 		
N. de Probeta.	5	Norma Utilizada: ASTM E23-02a
Lugar de ensayo:	Laboratorio de materiales/FICM-UTA	
Fecha:	09/09/2013	Temperatura ambiente: 20 °C
Realizado por:	Byron Chango	
Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín L.		
ENSAYO CHARPY (IMPACTO) DE LA MUESTRA OBTENIDA EN UN HORNO DE INDUCCION DE LA FICM DE LA UTA.		
Especificación de material:	Bronce al Aluminio	Proceso de obtención de la muestra:
Medida de la probeta	Ancho: 1 cm Altura: 1 cm Longitud: 5 cm Angulo: 45°	Fundición Fresa Tratamiento térmico: Ninguno
		GRÁFICA DE LA MUESTRA 
RESULTADOS: Se realiza el ensayo Charpy, llamado también ensayo de impacto en la probeta obtenida de la fundición de un bronce al aluminio en un horno de inducción, se obtiene el siguiente resultado. Punto de fractura: 1.02 Kg*m = 20 Joule		GRÁFICA DEL ENSAYO 

Elaborado: Autor.

TABLA 30.

Ensayo de Tracción en probeta fundida en un horno de inducción.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA EN INGENIERÍA MECÁNICA			
N. de Probeta.	5		Norma Utilizada: ASTM E – 8M
Lugar de ensayo:	Laboratorio de materiales/FICM-UTA		
Fecha:	09/09/2013		Temperatura ambiente: 20 °C
Realizado por:	Byron Chango		Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín L.
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Especificación de material:		Bronce al aluminio	
Proceso de obtención de la muestra:		Fundición Torno	
Tratamiento térmico:		Ninguno	
Medido		Calculado	
Carga (Kg)	Longitud Calibrada (mm)	Esfuerzo (Kg/mm ²)	Deformación (mm/mm x10 ⁻³)
0	50.800	0	0
600	51.326	4.736	10.354
900	51.852	7.105	20.709
1200	52.378	9.473	31.063
1500	52.904	11.841	41.417
1800	53.430	14.209	51.772
2100	53.956	16.578	62.126
2400	54.482	18.946	72.480
2700	55.008	21.314	82.835
3000	55.534	23.682	93.189
3200	56.060	25.261	103.543
3300	56.586	26.050	113.898
3600	57.112	28.419	124.252
4000	57.638	31.576	134.606
4500	58.164	35.523	144.961
4760	58.690	37.576	155.315
Área (mm ²)	126.68		
Porcentaje de Alargamiento (%):		$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100$ $\varepsilon = \frac{58.690 - 50.80}{50.80} * 100$ $\varepsilon = 15.31 \%$	
Porcentaje de reducción de Área (%):		$\% \text{ de Reduccion} = \frac{A_0 - A_f}{A_f} * 100$ $\% \text{ de Reduccion} = \frac{128.68 - 127.98}{127.98} * 100$ $\% \text{ de Reduccion} = 0.54 \%$	
Resistencia última a la tracción		$S_{ut} = \frac{F_{max}}{A_0}$ $S_{ut} = \frac{4760 \text{ Kg}}{126.68 \text{ mm}^2}$ $S_{ut} = 37.57 \text{ Kg mm}^2$	
OBSERVACIONES:			

Elaborado: Autor.

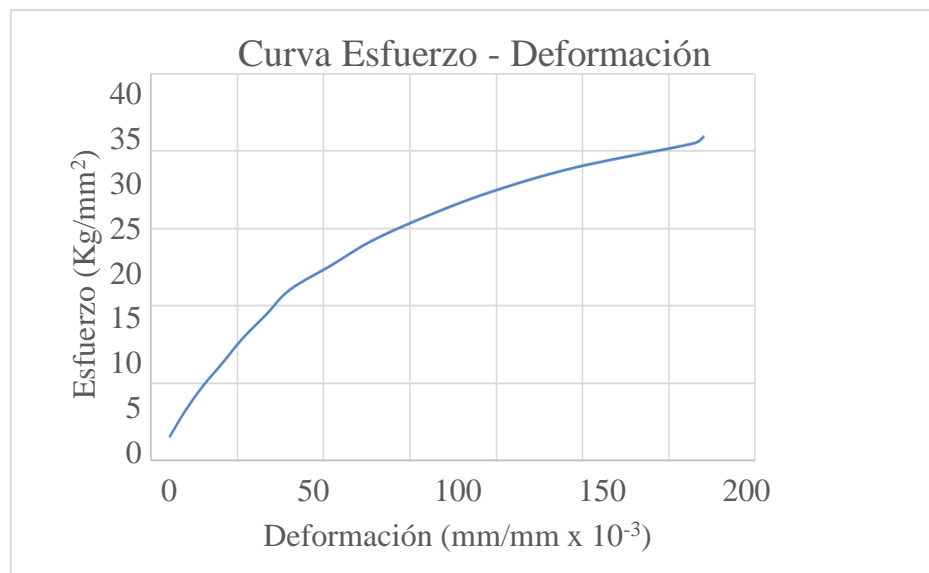



FIGURA 20. Curva Esfuerzo-Deformación de una aleación bronce al aluminio
Fuente: Autor

TABLA 31.

Análisis químico en probeta fundida en un horno de Inducción.

		LABORATORIO DE CALIDAD		
INFORME DEL ENSAYO DE COMPOSICION QUÍMICA DE MUESTRAS				
FECHA:	01/10/2013			
OPERADOR:	EDUARDO VILLEGAS			
MAQUINA:	ESPECTRÓMETRO DE RAYOS X EDX-720			
CANAL DE ENSAYO:	ENERGY TEST			
MUESTRA:	M2			
QUANTITATIVE RESULT				
ANALYTE	RESULT	(STD.DEV.)	PROC. CALC.	LINE
Cu	89.640%	0.065	QUAN-FP	CuKa
Al	7.870%	0.052	QUAN-FP	AlKa
Pb	0.105%	0.032	QUAN-FP	PbLb1
Ra	0.198%	0.011	QUAN-FP	RaLa
Th	0.109%	0.005	QUAN-FP	ThLa
Ti	0.059%	0.006	QUAN-FP	TiKa
Mn	0.100%	0.003	QUAN-FP	MnKa
Nb	0.900%	0.003	QUAN-FP	NbKa

Fuente: Laboratorio de control de Calidad, Acería Novacero

El análisis químico realizado en la muestra obtenida en la prueba 5, muestra como resultado el porcentaje de todos los elementos químicos existentes en la misma, de la cual se observa que el componente predominante es el cobre con un porcentaje del 89.64%, secundado por el aluminio con el 7.87%.

Para realizar la aleación de Bronce al Aluminio se necesita un 90% de cobre y 10% de aluminio, la tabla 31 indica que el porcentaje de aluminio es de 7.87%, cierta parte del porcentaje faltante se pierde en la reacción producida al introducir este material en cobre líquido que por diferencia de temperaturas este se evaporó, el resto fue desechado por la formación de escoria junto con cierto porcentaje de cobre como apreciamos en la misma tabla.

4.3. Verificación de hipótesis.

Los trabajos realizados en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, en lo que conlleva a la fundición metales no son aprovechados en su totalidad puesto que se cuenta con un horno de fundición de crisol basculante de capacidad de 60 Kg, y para realizar pruebas de laboratorio como son: análisis metalográfico, ensayo de tracción, ensayo Charpy, análisis químico, y ensayo de dureza, es necesario una fundición de 12 Kg., determinando así una diferencia de 48 Kg. de metal fundido, por lo tanto existe mucho material no utilizado el cual se lo toma como desperdicio.

Se determina la importancia de la optimización de materiales dentro del laboratorio en las cantidades necesarias para realizar estudio completo de las propiedades mecánicas del cobre, para ello se toma como referencia la aleación bronce al aluminio, el mismo que tiene como principales componentes cobre y aluminio electrolítico, la aleación fue obtenida mediante la fundición de dichos metales en dos de los hornos de cobre más comunes utilizados en el campo de la metalurgia, y para verificación de las propiedades mecánicas adquiridas se realizó los siguientes ensayos:




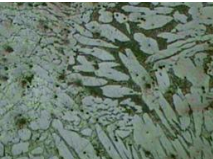
- Dureza

- Tracción
- Impacto
- Análisis metalográfico
- Análisis químico

Los resultados de los estudios se muestran en la tabla 32.

TABLA 32.

Resultados de los ensayos realizados en los hornos de fundición de cobre y aleaciones.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA EN INGENIERÍA MECÁNICA 					
REGISTRO DE RESULTADOS					
Realizado por:	Byron Chango				
Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín L.				
Tipo de Horno utilizado	ENSAYOS REALIZADOS				
	DUREZA BRINELL (HB)	IMPACTO (J)	TRACCIÓN (Kg/mm ²)	ANÁLISIS QUÍMICO	METALOGRAFICO
HORNO DE CRISOL	134.9	15	45.154	Cu= 86.32% Al = 6.98% Pb = 0.04% Ca = 0.36% Ra = 0.20%	
HORNO DE INDUCCION	138.5	20	37.57	Cu = 89.64% Al = 7.87% Pb = 0.11% Ra = 0.20% Th = 0.11% Ti = 0.06% Mn = 0.10% Nb = 0.90%	

Fuente: *Autor*

Los resultados dan a entender que no existe mayor diferencia entre las propiedades mecánicas de las dos fundiciones obtenidas en dos hornos diferentes, y que se obtuvo

una aleación con valores aproximados con las especificaciones de los fabricantes. (Ver Anexo 3).

Con la observación de los resultados expuestos en la tabla 32, y comparando con los datos en el anexo 3, se determina que la fundición obtenida corresponde a la aleación de un Bronce al Aluminio SAE 68A. Se verifica las propiedades mecánicas según tablas expuestas por los proveedores de bronce al aluminio SAE 68A (Ver anexo 4), cuyos datos se mantienen en dentro del rango.

Al ser el cobre el elemento principal de esta aleación tiene buenas características como resistencia a la corrosión, y excelente conductor eléctrico, pudiendo dar un sin número de utilidades, de acuerdo a las necesidades de la ingeniería de materiales, tales como aplicaciones eléctricas y en la industria carrocera por ser buen resistente a la corrosión se lo puede emplear en maquinaria que está expuesta a climas de mucha humedad y temperaturas elevadas haciendo que los componentes de este tipo de aleación duren mucho más que un material convencional.

De esta manera se verificó la hipótesis, al optimizar materia prima del laboratorio minimizando la cantidad de desperdicio, se utilizó un crisol de capacidad de 6 Kg., con la fundición obtenida se realizó diferentes ensayos los cuales determinaron las propiedades mecánicas de la aleación, como resultado se especifica la obtención de una aleación Bronce al Aluminio SAE 68A, la cual tiene sus diferentes aplicaciones industriales.

La hipótesis fue comprobada estadísticamente al tomar la lectura del peso en Kg. de cada una de las muestras productos de los procesos de fundición de cobre y sus aleaciones realizadas en el laboratorio de Materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, las mismas que fueron cortadas para poder obtener así 30 muestras diferentes que son necesarias para realizar la verificación estadística de la hipótesis.

TABLA 33.

Datos obtenidos de tres tipos de fundiciones de cobre realizadas en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

	DATOS	PESO (Kg.)	
FUNDICION 1 PESO TOTAL 3.91 KG.	1	0.53	TOTAL F. 1 3.91
	2	0.55	
	3	0.48	
	4	0.37	
	5	0.62	
	6	0.35	
	7	0.48	
	8	0.53	
FUNDICION 2 PESO TOTAL 4.43 KG.	1	0.30	TOTAL F.2 4.33
	2	0.35	
	3	0.44	
	4	0.65	
	5	0.33	
	6	0.37	
	7	0.54	
	8	0.33	
	9	0.38	
	10	0.64	
FUNDICION 3 PESO TOTAL 3.67 KG.	1	0.18	TOTAL F.3 3.67
	2	0.26	
	3	0.33	
	4	0.23	
	5	0.19	
	6	0.55	
	7	0.25	
	8	0.21	
	9	0.53	
	10	0.22	
	11	0.52	
	12	0.20	

Fuente: *Autor*

TABLA 34.

Cálculo de la variable continua y determinación de intervalo para la estimación de nivel de las muestras.

VARIABLE CONTINUA	
$X_{Máx.} = 0.65$ $X_{Mín.} = 0.18$	$m = 1+3.3\log(n)$ $m = 6$
Intervalo = $(X_{Máx.}-X_{Mín.})/m$ Intervalo = 0.08	

Fuente: Autor

TABLA 35.

Intervalo para la estimación de nivel de las muestras.

NIVEL	INTERVALOS	
BAJO	0.13	0.21
	0.22	0.30
MEDIO	0.31	0.39
	0.40	0.47
ALTO	0.48	0.56
	0.57	0.65

Fuente: Autor

TABLA 36.

Tablas de contingencia y determinación de los valores del Chi Cuadrado

FRECUENCIA OBSERVADA F.O.				
NIVEL	FUNDICIONES			TOTAL
	F1	F2	F3	
BAJO	0	1	8	9
MEDIO	4	6	1	11
ALTO	4	3	3	10
TOTAL	8	10	12	30
FRECUENCIA ESPERADA F.E.				
NIVEL	FUNDICIONES			TOTAL
	F1	F2	F3	
BAJO	2.40	3.00	3.60	9.00
MEDIO	2.93	3.67	4.40	11.00
ALTO	2.67	3.33	4.00	10.00
TOTAL	8.00	10.00	12.00	30.00

TABLA 37.Tabla de resumen y determinación del Chi Cuadrado (X^2).

	F.O.	F.E.	F.O. – F.E.	(F.O. – F.E.)²	((F.O. – F.E.)²)/F.E.
F1 BAJO	6	2.40	3.60	12.96	5.40
F1 MEDIO	2	2.93	-0.93	0.87	0.30
F1 ALTO	2	2.67	-0.67	0.44	0.17
F2 BAJO	4	3.00	1.00	1.00	0.33
F2 MEDIO	4	3.67	0.33	0.11	0.03
F2 ALTO	2	3.33	-1.33	1.78	0.53
F3 BAJO	7	3.60	3.40	11.56	3.21
F3 MEDIO	1	4.40	-3.40	11.56	2.63
F3 ALTO	2	4.00	-2.00	4.00	1.00
TOTAL	30	30.00	0.00	44.28	13.60

G.L. = (F-1) (C-1)
G.L. = (3-1) (3-1)
G.L. = 4
X^2 tabla (Ver Anexo 15) = 9.488
X^2 Calculado = 13.60

Fuente: Autor

El resultado de la tabla 37 muestra que el valor de X^2 de tablas que es menor que el valor X^2 calculado, es así que se determina entonces que la hipótesis nula (H_0) se rechaza, por lo tanto existe demasiada cantidad de desecho al realizar la fundición en un horno de capacidad de 60 Kg., es así que es necesaria la implementación de un horno de fundición de cobre de capacidad de 6 Kg. para evitar desperdicios generados en las fundiciones realizadas en el Laboratorio de Materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Es importante mencionar que la carrera no ha realizado una investigación profunda en el campo de la fundición, siendo ésta la primera que se realiza en la misma, se tiene el interés en realzar este estudio para así cumplir con la optimización de materia prima en el Laboratorio de Materiales de la Carrera en Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica De Ambato.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. Conclusiones.

Se observa la prueba número 1, la cual no se pudo cumplir el objetivo de la práctica que fue el de fundir el material, analizando la tabla 17, la cual determina que en un tiempo estimado de 180 minutos se llega a una temperatura de 540 °C, con un consumo de 15 galones de combustible, a pesar de la utilización de un quemador con alimentación a diésel el cual tiene una boquilla de 3.5 gal/h, esto se debe al gran tamaño y a la capacidad de carga que tiene el crisol que es de 60 Kg.

Se incrementa el tiempo en la prueba 2, la cual fue de 360 minutos, utilizando el mismo quemador a diésel con la misma boquilla, se observa que el consumo de combustible es de 30 galones y llega a una temperatura de 890 °C, por lo cual no se cumple con la práctica pues el tiempo y sobre todo el costo de combustible es considerable. Se concluye entonces que el horno se utiliza para la fundición de metales de menor punto de fusión como por ejemplo el aluminio, y no puede ser utilizado para la fundición de cobre.

La prueba 3, se la realiza en un horno de crisol de menor capacidad, logrando cumplir con la fundición. Con el fin de determinar las propiedades mecánicas y la calidad de las fundiciones obtenidas en este tipo de hornos, se realizó diferentes tipos de análisis como: ensayo metalográfico, ensayo de dureza, ensayo Charpy (impacto), ensayo a tracción, y análisis químico, obteniendo una aleación de un bronce al aluminio SAE 68A según se reflejan en la tabla 32.

Al realizar el estudio de las fundiciones en el horno de inducción del Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, como se puede observar en la prueba 5, se observa un resultado satisfactorio

al obtener la aleación deseada en un tiempo de 40 minutos, alcanzando una temperatura de 1140°C, se utilizó un crisol de grafito arcilla A5, que es el de mayor capacidad según la altura de la bobina, de utilizar un crisol de mayor tamaño la inducción eléctrica que produce la bobina no circulara por toda el área del crisol, y existiría una gran cantidad de pérdida de calor hacia el ambiente, además de ello este tipo de crisol tiene un recubrimiento exterior hecho con material refractario muy duro y resistente a altas temperaturas, debido a esto se ha visto factible retirar dicho material del crisol para así poder cumplir la práctica y lograr la fundición en los tiempos mencionados en la tabla 32.

Al obtener los resultados de las distintas fundiciones se revisa en el diagrama Cu-Al, de la figura 20, la misma que determina una microestructura γ_2 , así como dureza es de 134.9 y de 138.5 Brinell, resistencia al impacto es de 15 y 20 Joule, una resistencia a la tracción máxima (Sut) de 45.15 Kg/mm² y 37.57 Kg/mm² respectivamente, y el análisis químico de ambas muestras indica las cantidades de cobre y aluminio en los porcentajes adecuados y demás componentes necesarios, determinando así que la aleación obtenida fue un Bronce al Aluminio SAE 68A, propiedades que se comparan entre la fundición realizada con otras aleaciones creadas por fabricantes. (Ver anexos 3 y 4).

Dentro de la aleación existe la contaminación de otros metales como el plomo, calcio, radio, manganeso, entre otros los mismos que se introdujeron en la aleación pues los materiales base estuvieron ya con estos metales, pero en menor porcentaje así que no afectan mayormente las propiedades de la aleación.

Al llegar al punto de fusión del cobre, estando este ya en estado líquido se procede a introducir el aluminio en la colada, para obtener así la aleación deseada, en ese momento se presenta una reacción exotérmica aumentando rápidamente la temperatura, a causa de que el aluminio al tener menor punto de fusión que el cobre, tiende a la evaporación de dicho material produciéndose una pérdida de aluminio en la aleación, además de ello se produce una cierta cantidad de gases que de no utilizar el debido equipo de seguridad puede causar daños al operador.

El laboratorio de materiales de la carrera en Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, cuenta con un horno de Inducción, el mismo que tiene una bobina que no me permiten fundir en crisoles mayores a un crisol A5, el cual tiene una capacidad máxima de carga de 4 Kg, la colada obtenida no es suficiente para cubrir el volumen requerido por las probetas, que serán maquinas cumpliendo las diferentes normas establecidas para la realización de sus estudios y análisis, como por ejemplo: análisis metalográficos, ensayo de dureza, ensayo Charpy (impacto), ensayo de tracción, análisis químico, entre otros, necesarios para el fortalecimiento académico de los estudiantes que siguen la carrera en Ingeniería Mecánica, debiendo realizar más de una fundición para obtener las probetas requeridas.

5.2 Recomendaciones.

Al realizar la práctica en el horno de crisol basculante con alimentación a Diésel, existente en el Laboratorio de Materiales de la Carrera en Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, se observó que el horno tarda demasiado tiempo en alcanzar temperatura altas, consumiendo una gran cantidad de combustible debido al exceso de pérdida de calor por la chimenea, se recomienda entonces realizar un estudio minucioso para la reducción de pérdidas de calor de mencionado horno.

La temperatura de fusión del cobre es relativamente alta, para lo cual se requiere un horno de fundición capaz de fundir el material en un tiempo adecuado y con la cantidad de colada suficiente para cubrir las necesidades de los estudiantes que desean realizar cualquier estudio de las aleaciones resultantes de la fundición dentro de la rama metalúrgica.

Al trabajar con el horno de inducción existente en el Laboratorio de Materiales de la Carrera en Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato se debe tener en cuenta las dimensiones de la bobina pues se debe introducir un crisol el cual no sobresalga dichas medidas evitando así perdidas de calor hacia el ambiente y el maltratar al crisol A6, al recortarlo para que tome la forma adecuada.

En cualquier caso al trabajar con este tipo de equipos se mantiene un contacto con material fundido por lo tanto se debe tener todos los equipos de seguridad personal puestos como son, guantes, casco, gafas, mandil de cuero, mascarilla con filtro de carbono, zapatos de punta de acero entre otros, así como un extintor de incendios en caso de que se produzca algún accidente provocado por el exceso de calor en el área de trabajo.

Antes de realizar cualquier tipo de aleación se recomienda primero hacer un estudio de la misma pues al momento de introducir un metal sólido en otro que ya está en estado líquido causa diferentes tipos de reacciones como por ejemplo la elevación brusca de temperatura produciendo una violenta emanación de gases, y/o salpicaduras, que de no ser previstas pueden causar daño sea al equipo, como al operario.

CAPITULO VI

6. PROPUESTA.

6.1. Datos Informativos.

TEMA:

“IMPLEMENTACION DE UN HORNO PARA FUNDIR COBRE Y SUS ALEACIONES PARA OPTIMIZAR MATERIA PRIMA EN EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”.

Institución ejecutora: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

Beneficiarios: Estudiantes de la carrera en Ingeniería Mecánica

Ubicación: Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato

Equipo técnico responsable: Byron Orlando Chango P.

Costo: 3000 USD

6.2. Antecedentes De La Propuesta

El Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, cuenta con varios equipos como por ejemplo un Horno Eléctrico (Horno de Mufla) que sirve para realizar prácticas de diferentes tipos de tratamientos térmicos en varios metales. Además cuenta con un horno de fundición de Crisol, con alimentación a diésel, el cual tiene una capacidad de carga de 60 Kg., en éste se realizan prácticas de fundiciones de aleaciones a base de Aluminio.

La actualización en tecnología también es importante pues el mencionado laboratorio cuenta con un horno de Inducción de una capacidad máxima de 5 Kg. de carga el

mismo que es utilizado para la realización de prácticas de fundición de metales a base de aluminio.

6.3. JUSTIFICACIÓN.

Las piezas fabricadas a base de cobre tienen un alto costo en el país, debido a los altos aranceles que tienen que pagar para poder ser comercializados en el Ecuador, un claro ejemplo son los repuestos automotrices. Por estas razones se ha generado la necesidad de producir en el país piezas mecánicas, las cuales satisfagan la demanda nacional, siempre y cuando resulte ser un producto de buena calidad y a un costo accesible.

Este estudio permitió a los estudiantes de la carrera en Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato integrar los conocimientos teóricos con la experiencia práctica en un tiempo adecuado y restringido del uso del laboratorio, así también obtener muestras y compararlas con las existentes en el mercado realizando análisis metalográficos, como pruebas de dureza, impacto y de tracción en cada una de ellas, mejorando y corrigiendo sus defectos en cada práctica realizada.

6.4. Objetivos.

6.4.1. Objetivo general.

IMPLEMENTAR UN HORNO DE FUNDICION DE COBRE Y SUS ALEACIONES PARA OPTIMIZAR MATERIA PRIMA EN EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.

6.4.2. Objetivos específicos.

- Diseñar un horno de crisol basculante que brinde las facilidades de operación y seguridad para el operario a cargo de la realización de la práctica.
- Realizar la selección adecuada de materiales que brinden una larga vida útil del mismo.

- Identificar materiales adecuados que eviten pérdidas de calor que se generan en el momento de la fundición.

6.5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

6.5.1. Política

El uso de laboratorio de materiales para las diferentes prácticas que cubren las necesidades de la carrera, son restringidas, debido al incremento de estudiantes de la misma, pues para un ensayo de fundición en el horno de crisol de carga de 60 kg, lleva un tiempo de 6 horas para la culminación de la práctica, pues el horno está diseñado para la fundición de metales de menor punto de fusión que el cobre, como por ejemplo el aluminio.

6.5.2. Tecnológica

Fue posible desarrollarlo pues se dispone del conocimiento y habilidades del manejo metódico, procedimientos y funciones requeridas para el desarrollo de la práctica, además se contó con el equipo y herramientas necesarios para llevarlo a cabo en los laboratorios.

6.5.3. Organizacional

Fue factible el desarrollo del tema, pues los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica son los mayores beneficiados al contar con máquinas que respalden sus conocimientos en el tema de fundiciones, además facilita las relaciones entre el docente y el estudiante de tal manera que provoque un mejor aprovechamiento de los recursos, una mayor eficiencia y coordinación para el desarrollo de la propuesta planteada.

6.5.4. Económico – Financiero

Al desarrollar la propuesta planteada se comprobó que la cantidad de desperdicio es elevada, así como el costo de la materia prima y combustible empleado.

6.6. Fundamentación

6.6.1. Requerimientos básicos

El trabajo desarrollado para la fundición del cobre y sus aleaciones requirió de consideraciones que determinan la calidad de la fundición, por lo tanto tomamos en cuenta los siguientes parámetros:

Temperatura de fusión (T_f).- El horno diseñado servirá para fundir aleaciones base cobre, el mismo que tiene una temperatura de fusión de 1085° C. (Ver Anexo 1).

Temperatura exterior (T_∞).- Temperatura en la cara exterior del horno, en este caso tomamos la temperatura ambiente aproximada de 20° C.

Temperatura de diseño (T_d).- Es la temperatura de la cara interior del refractario y se asume 1200 ° C.

Capacidad del horno.- Por motivos de investigación se seleccionó un crisol que tenga la capacidad a fundición de 6 Kg. de metal base cobre.

Tiempo de Fundición.- El tiempo necesario para obtener el metal líquido a la temperatura adecuada será de 1 hora, la cual se considera entre 20 minutos de precalentamiento de la cámara de combustión y de 40 minutos de fundición del material.

6.6.2. Elementos que constituyen un horno de fundición.

La parte principal de cada horno es el lugar de trabajo, donde se efectúa el proceso deseado, las mismas que están construidas con materiales refractarios y termo-aislantes. Entre los principales componentes que presenta un horno de fundición son:

- Bóveda o cámara de combustión.
- Paredes Refractarias.

- Solera.
- Crisol.
- Chimenea.
- Entrada de alimentación de calor.

6.6.3. Materiales utilizados para la construcción del horno.

La conformación de las partes del horno está formada por los siguientes materiales:

- Ladrillo refractario.
- Concreto refractario.
- Mortero.
- Manta cerámica.
- Chapa metálica.

6.6.4. Parámetros para el diseño térmico

Para el estudio térmico se deben establecer determinadas consideraciones técnicas como:

- El tamaño del crisol.
- La selección de combustible a usar.
- Los materiales que forman las paredes del horno.
- Dimensionamiento de la cámara de combustión.
- Coeficientes de transferencia de calor en el horno.

Para un diseño adecuado se debe tener en cuenta también:

- Metal a fundir.
- Temperaturas del metal.
- Temperatura de la cámara del horno y tiempos de fusión.

Con los datos anteriores se realiza el dimensionamiento del horno, los espesores de las capas que lo conforman, además se evalúan las pérdidas de calor del equipo para

determinar el consumo de combustible y seleccionar adecuadamente el quemador del horno.

6.6.5. Tamaño Del Crisol

6.6.5.1. Características De Los Crisoles

El recipiente que contiene el metal líquido dentro del horno se denomina crisol existe diferentes tamaños, materiales y dimensiones. Los materiales con los cuales se elaboran los crisoles, son variados pero en su mayoría son el Carburo de Silicio y el Grafito. *[Catálogo de accesorios térmicos, marca Erecos (2012)]*

6.6.5.2. Selección de Crisol

Para una adecuada selección del crisol, se estudió el tipo de aleación a obtener, el combustible a emplear y el tipo de horno que se tiene. Además el material con el cual es fabricado presentó una excelente conductividad térmica y una buena resistencia a la acción de escorias.

6.6.5.3. Formas estándar de los crisoles que se manejan en carburo de silicio y grafito.

Crisoles Tipo A: El número del modelo indica la capacidad en Kg. de metal que se puede fundir. Un ejemplo de esto es el crisol A100 que puede fundir 100 Kg. de Cobre y un 20% adicional a esta capacidad sin considerar el factor de seguridad que toman los fabricantes.

Definido el peso de metal a fundir en 6 Kg. se trabajó con un crisol SALAMANDER GRAFINOX A6 de la compañía Morgan Metal Systems con sus respectivas especificaciones técnicas que se muestran en la figura 21.

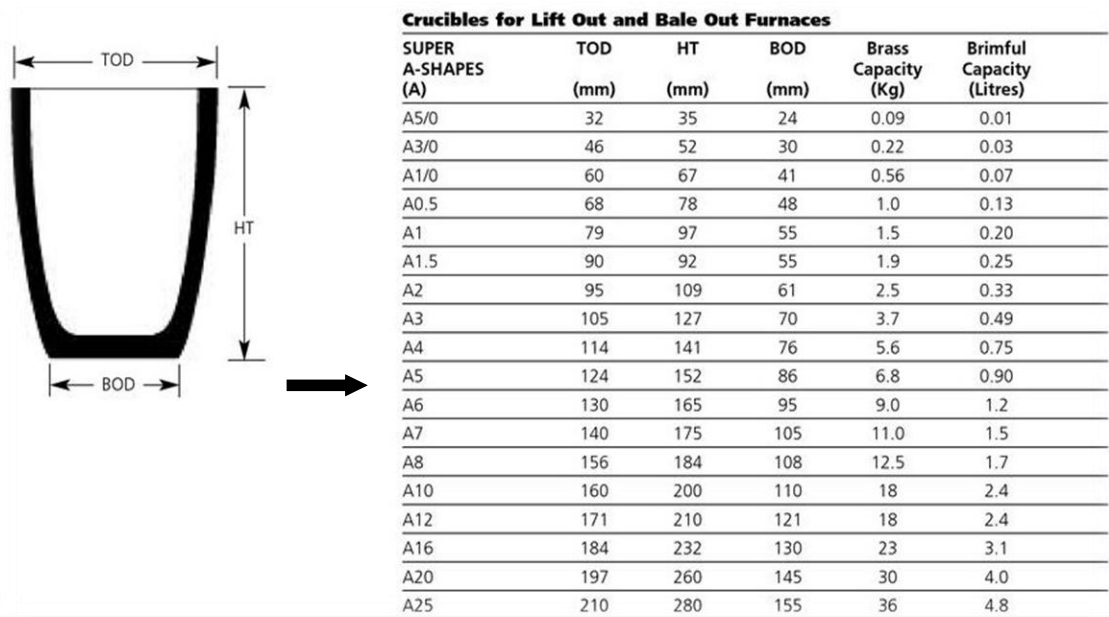


FIGURA 21. Especificaciones técnicas crisol A6.
 Fuente: [Catálogo de accesorios térmicos, Grupo La Llave S.A. (2013)]

De la Fig 21. Obtenemos los siguientes datos:

Crisol Tipo A6

- Dc = 130 (mm) Diametro superior (TOD)
- dc = 95 (mm) Diametro inferior (BOT)
- hc = 165 (mm) Altura (HT)
- m = 6 Kg. Capacidad de carga

6.6.6. Dimensionamiento de la Cámara de combustión

Al trabajar con temperaturas elevadas el crisol tiende a expandirse, por lo tanto hay que mantener una distancia entre 1 y 2 pulgadas desde el diametro máximo del crisol hacia las paredes del refractario, a este espacio se lo denomina espacio de combustión (ec).

6.6.6.1. Diámetro interno del refractario

$$D_i = D_c + 2ec \tag{Ec. 3}$$

$$Di = 130 \text{ mm} + 2(40\text{mm})$$

$$Di = 210 \text{ mm}$$

Dónde:

Di = Diámetro interno del refractario.

Dc = Diámetro mayor del crisol.

ec = espacio de combustión

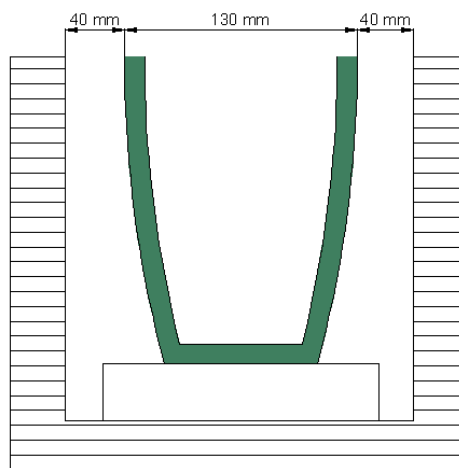


FIGURA 22. Especificaciones técnicas crisol A6.

Fuente: *Autor*.

6.6.6.2. Calculo del diámetro del horno.

Para el presente diseño trabajamos con las normas INEN 607 (Ver Anexo 17).

La norma establece los materiales a trabajar a temperaturas altas como:

Materiales refractarios

Formas y dimensiones recomendadas de ladrillos

Formas y dimensiones recomendadas de piezas de caras planas.

6.6.7. Refractario.

TABLA 38.

Ladrillo de cuña. Dimensiones y tolerancias

TIPOS	Dimensiones y tolerancias (mm)			
	a (largo)	c (ancho)	e (espesor mayor)	f (espesor menor)
Cuña No. 1-X				56±2
Cuña No. 1	229 ± 5	114±3	63±2	48±2
Cuña No. 2				38±1

Fuente: Norma INEN 607

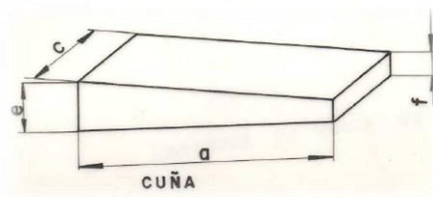


FIGURA 23. Ladrillo de cuña o de arco.

Fuente: Norma INEN 607. (Ver Anexo 17)

Tomando muy en cuenta la norma INEN 607, se ha seleccionado refractario marca Erecos, por sus características físicas y químicas pues cubren los requerimientos térmicos los cuales son llegar hasta una temperatura de 1085° C. (punto de fusión del cobre).

Por la forma cilíndrica del horno tomamos un ladrillo refractario ERECOS ARCO N⁰ 2, cuyas medidas son 9 x 4 ½ x 2 ½ x 1 ¾ in. Clasificación U33. (Ver Anexo 5).

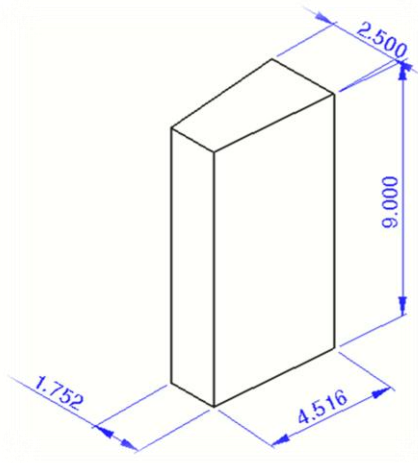


FIGURA 24. Ladrillo Refractario Arco N° 2, Marca ERECOS

Fuente: *Autor*

Se Tiene entonces el diámetro exterior total del horno D_e , según los siguientes parámetros:

- Diámetro interno del refractario. $D_i = 210$ mm
- El refractario se lo colocara en manera longitudinal según la gráfica de la figura 24.
- Y la medida a utilizar es el ancho de $4 \frac{1}{2}$ in, que equivale a 114.3 mm. El mismo que lo pegaremos con mortero Súper Aerofrax, el cual tiene la propiedad de resistir altas temperaturas sin fraccionarse. (Ver Anexo 6)
- Colocamos una capa de cemento refractario Concrax 1500. (Ver Anexo 7), que recubrirá la parte externa del refractario, para obtener un mayor aislamiento, este será de espesor igual a 5mm, el mismo que soporta una temperatura de hasta 1500°C .
- Se utilizó manta aislante de espesor 2 in = 50.8 mm. Que será el que mantenga el calor dentro del horno. (Ver Anexo 2)
- Una placa de acero ASTM A36, de espesor $\frac{1}{4}$ in = 6.35 mm. (Ver Anexo 18).

$D_e = \text{Diámetro interno} + \text{ancho del refractario} * (2) + \text{espesor de la capa del cemento} * (2) + \text{espesor de la manta aislante} * (2) + \text{espesor de la placa de acero} * (2).$

$$De = 210 + 114.3 * 2 + 5 * 2 + 50.8 * 2 + 6.35 * (2)$$

$$De = 560.9 \text{ mm}$$

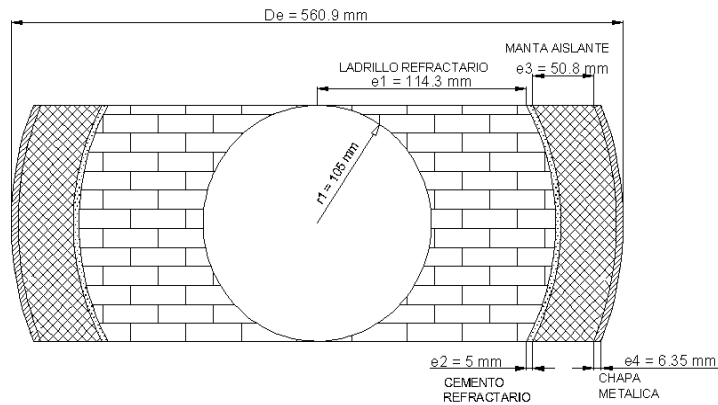


FIGURA 25. Diámetro exterior del horno (De)

Fuente: *Autor*

6.6.8. Cálculo de la altura del horno.

6.6.8.1. Base Del Crisol.

Para la altura del horno, se tiene relación con la ubicación del quemador, la Industria Morgan System, sugiere una altura de 8 a 15 cm desde la base del horno, tomando en cuenta esta sugerencia tomaremos la altura de 11.43 cm, que es la altura del ladrillo refractario recto (ver fig. 24), el mismo que coloca como base para asentar el crisol.

6.6.8.2. Refractario.

TABLA 39.

Ladrillo normal o fundamental. Dimensiones y tolerancias

Forma normal o fundamental (mm)	Dimensiones y tolerancias (mm)		
	a	c	e
229 * 114 * 63	229 ± 5	114 ± 3	63 ± 2

Fuente: *Norma INEN 607*

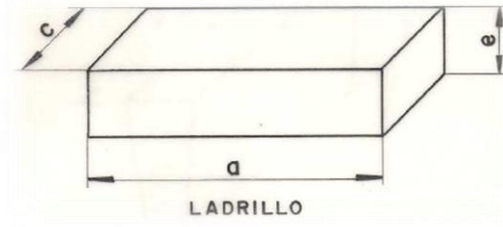


FIGURA 26. Ladrillo recto normal.
Fuente: *Norma INEN 607*. (Ver Anexo 8)

Para la base del horno por su forma se utilizó ladrillo refractario recto marca ERECOS. Cuyas medidas son de $9 \times 4 \frac{1}{2} \times 2 \frac{1}{2}$ in. y que se encuentra dentro de las normas INEN 607.

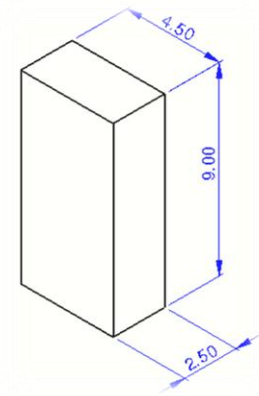


FIGURA 27. Ladrillo Refractario recto, Marca ERECOS
Fuente: *Autor*

Altura total del horno Hh según los siguientes parámetros:

- h1 = Espesor de la Placa metálica ASTM A36 en la base. $\frac{1}{4}$ in = 6.35 mm.
- h2 = Espesor del Ladrillo refractario en la base, $4 \frac{1}{2}$ in = 114.3 mm.
- h3 = Altura de la base del crisol. $4 \frac{1}{2}$ in = 114.3 mm.
- h4 = Altura del crisol A₆, Fig. 21 = 165mm.
- h5 = Espacio de dilatación en la parte superior del crisol y salida de los gases = 40mm.
- h6 = Espesor del Ladrillo refractario en la tapa, $4 \frac{1}{2}$ in = 114.3 mm.
- h7 = Espesor de la manta aislante 2 in = 50.8 mm.

- h_8 = Espesor de la Placa metálica en la tapa. $\frac{1}{4}$ in = 6.35 mm.

$$Hh = 6.35 + 114.3 + 114.3 + 165 + 40 + 114.3 + 50.8 + 6.35 \text{ mm}$$

$$Hh = 611.4 \text{ mm}$$

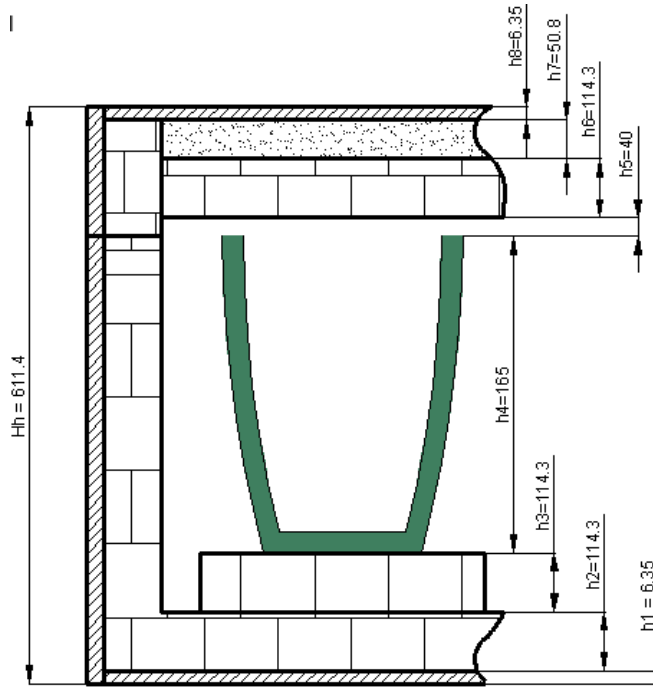


FIGURA 28. Diagrama de la altura total del horno Hh .

Fuente: *Autor*

6.6.8.3. Dimensionamiento de la Placa Base.

La placa base constituye el mismo acero ASTM A36, y se coloca a la base del horno dentro del diámetro interno de la coraza según se observa la figura 29.

$$Db = De - \text{espesor de la placa} * (2) \quad (\text{Ec. 3})$$

$$Db = 560.9 - 6.35 * (2)$$

$$Db = 548.2 \text{ mm}$$

Dónde:

Db = diámetro de la placa base

De = diámetro exterior total del horno

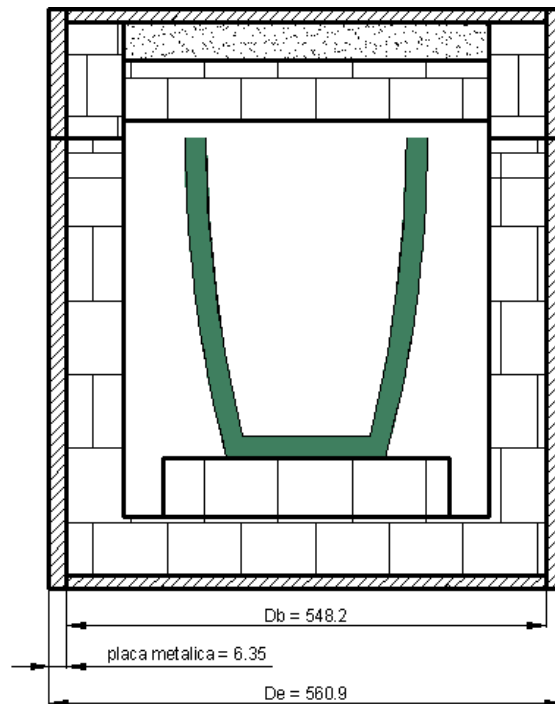


FIGURA 29. Diagrama de la placa base del horno Db.

Fuente: *Autor*

6.6.8.4. Dimensionamiento de la coraza.

El Diámetro total exterior (De), es el mismo diámetro de la coraza.

La altura del cuerpo la constituye la suma de las siguientes alturas (Ver fig. 28):

- h_1 = Espesor de la Placa metálica ASTM A36 en la base. $\frac{1}{4}$ in = 6.35 mm.
- h_2 = Espesor del Ladrillo refractario en la base, $4 \frac{1}{2}$ in = 114.3 mm.
- h_3 = Altura de la base del crisol. $4 \frac{1}{2}$ in = 114.3 mm.
- h_4 = Altura del crisol A_6 Fig. 21 = 165mm.
- h_5 = Espacio de dilatación en la parte superior del crisol y salida de los gases = 40mm.

$$H_c = 6.35 + 114.3 + 114.3 + 165 + 40$$

$$H_c = 439.95 \text{ mm} \approx 440 \text{ mm}$$

6.6.8.5. Dimensionamiento de la tapa (ht).

Para el dimensionamiento de la tapa del horno tomamos en cuenta los siguientes parámetros (Ver fig. 28):

- h_6 = Espesor del Ladrillo refractario en la tapa, 4 ½ in = 114.3 mm.
- h_7 = Espesor de la manta aislante 2 in = 50.8 mm.
- h_8 = Espesor de la Placa metálica en la tapa. ¼ in = 6.35 mm.

$$Ht = 114.3 + 50.8 + 6.35$$

$$Ht = 171.45 \text{ mm}$$

6.6.9. Coeficientes de transferencia de calor en el horno.

6.6.9.1. Energía necesaria para fundir el metal.

Al llegar al punto de fusión del cobre fue necesario mantener la aplicación del calor del quemador para pasar de metal sólido a metal líquido y para que la colada se conserve en este estado mientras se agrega más material, en este lapso la temperatura no aumenta pues la cantidad de calor emanada se concentra en fundir en nuevo material ingresado, a este proceso se le conoce como calor latente de fusión.

La energía necesaria para llevar al metal a la temperatura de vertido es la suma de tres calores:

Q1.- Es el calor a ser considerado entre la temperatura del ambiente 20 °C hasta los 900°C.

Considerando que estamos tratando de un sistema de forma cilíndrica determinamos las dimensiones interiores de la cámara.

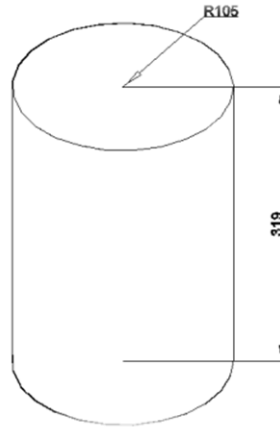


FIGURA 30. Dimensiones interiores de la cámara de calentamiento.
Fuente: Autor

Según la ecuación 3 y de la Fig. 30, se determina:

D_i = Diámetro interno del refractario = 210 mm, entonces

R = radio = 105 mm

H = altura = 319 mm

Calculamos entonces el volumen de la cámara interior.

$$V = \pi * R^2 * H \quad (\text{Ec. 4})$$

$$V = 0.011 \text{ m}^3$$

Calculamos así la masa del aire con los datos de volumen y densidad.

$$m = \rho * V \quad (\text{Ec. 5})$$

$$m_{\text{Aire}} = \rho_{\text{Aire}} * V$$

$$m_{\text{Aire}} = 0.00962 \text{ Kg.}$$

Dónde:

m_{Aire} = masa del aire (Kg.)

ρ_{Aire} = densidad promedio del aire = 0.8711 Kg./ m³

V = volumen (m³)

Determinamos entonces Q₁. Con los siguientes datos.

(Ver Anexo 10).

$$C_{p(20^{\circ}\text{C})} = 1.00646 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^{\circ}\text{K}}$$

$$C_{p(900^{\circ}\text{C})} = 1.17068 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^{\circ}\text{K}}$$

$$C_{p(\text{Prom})} = 1.08857 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^{\circ}\text{K}}$$

$$m_{\text{Aire}} = 0.00962 \text{ Kg.}$$

$$\Delta T = (T_f - T_i) = (900 - 20) = 880^{\circ}\text{C}$$

$$Q_1 = m * C_p * \Delta T \quad (\text{Ec. 6})$$

$$Q_1 = 92.15 \text{ KJ}$$

Dónde:

Q₁ = Es el calor a ser considerado entre la temperatura del ambiente 20 °C hasta los 900°C.

m_{Aire} = Masa del aire (Kg.)

ΔT = Diferencial de Temperaturas (°C)

Q2.- Calor de fusión de la aleación o la energía necesaria para convertirla de sólido en líquido, llamado calor latente de fusión. Para determinar los calores específicos se emplea la siguiente Figura 31.

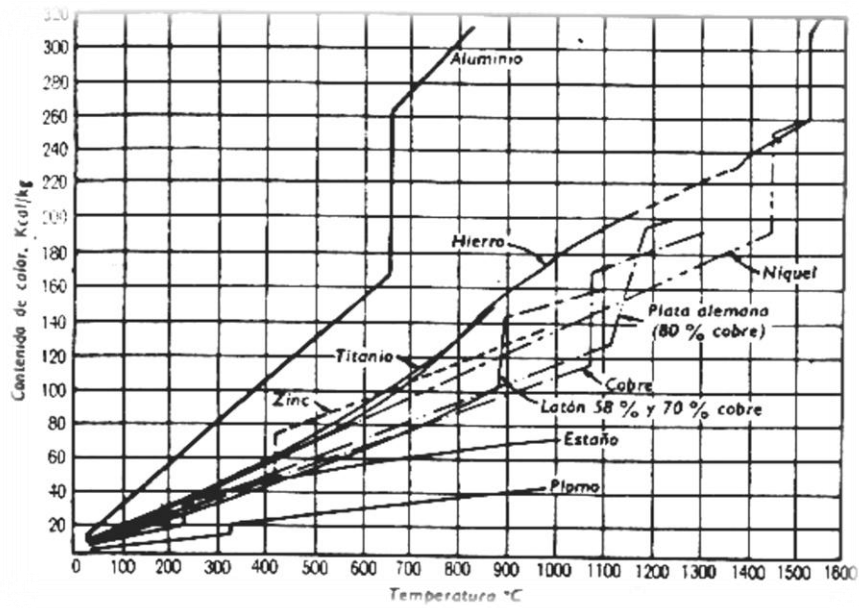


FIGURA 31. Contenido de Calor de los metales a diferentes temperaturas.

Fuente: TRINKS W. *Hornos Industriales. Vol. 1, Pg. 26.*

Datos:

$$m_{\text{Aire}} = 0.00962 \text{ Kg.}$$

De acuerdo la Fig. 30; $h_s \text{ a } 900^\circ\text{C} = 100 \text{ Kcal / Kg} = 418.41 \text{ KJ / Kg.}$

$$Q_2 = m * h_s \tag{Ec. 7}$$

$$Q_2 = 40.45 \text{ KJ.}$$

Q3.- Calor requerido para sobrecalentar el metal hasta la temperatura de vertido de 900 °C a 1085 °C.

$$m_{\text{Aire}} = 0.00962 \text{ Kg.}$$

$$T_o = 900^\circ\text{C}$$

$$T_f = 1085^\circ\text{C}$$

$$C_p (900^\circ\text{C}) = 1.17068 \text{ KJ / Kg } ^\circ\text{K}$$

$$C_p (1085^\circ\text{K}) = 1.19944 \text{ KJ / Kg } ^\circ\text{K}$$

$$C_p (\text{prom}) = 1.18506 \text{ KJ} / \text{Kg} \text{ } ^\circ\text{K}$$

Evaluando con la ecuación 6.

$$Q_3 = 21.09 \text{ KJ.}$$

6.6.9.2. Calor en el Crisol.

Calor necesario para elevar la temperatura ambiente de 20°C hasta la temperatura final 1085°C. En el Crisol tipo A₆, según las especificaciones en la fig. 21.

$$V_c = 1.0472 * hc (R^2 + R * r + r^2) \quad (\text{Ec. 8})$$

$$V_c = 1.65 * 10^{-3} m^3$$

Dónde:

$$V_c = 1.65 * 10^{-3} m^3 \quad \text{Volumen del crisol}$$

$$R = 65 \text{ mm} \quad \text{Radio mayor}$$

$$r = 47.5 \text{ mm} \quad \text{radio menor}$$

$$hc = 165 \text{ mm} \quad \text{Altura del crisol}$$

El crisol está fabricado de un material resistente a altas temperaturas como es el grafito cuya densidad es de 2200 Kg/m³, cuyo dato nos servirá junto con el volumen para calcular la masa del crisol.

Evaluando con la ecuación 5.

Tenemos:

$$m_{\text{Crisol}} = \rho_{\text{grafito}} * V_c$$

$$m_{\text{Crisol}} = 3.63 \text{ Kg.}$$

Evaluando con la ecuación 6. Para los datos del crisol tenemos:

$$T_o = 20^{\circ}\text{C}$$

$$T_f = 1085^{\circ}\text{C}$$

$$m_{\text{CRISOL}} = 3.63 \text{ Kg.}$$

$$C_p (\text{CRISOL}) = 1.63 \text{ KJ / Kg }^{\circ}\text{K}$$

$$Q_{\text{CRISOL}} = m_{\text{CRISOL}} * C_p \text{ CRISOL} * \Delta T$$

$$Q = 6301.49 \text{ KJ.}$$

6.6.9.3. Calor total.

El calor total neto necesario para fundir la carga Q es igual a la suma de los calores:

Se tiene que el calor está determinado por la expresión:

$$Q_{\text{TOTAL}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_{\text{CRISOL}} \quad (\text{Ec. 9})$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = 6455.18 \text{ KJ}$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = 1793.105 \text{ W. h}$$

6.6.9.4. Masa a calentarse.

La masa a calentar corresponde a la suma de las masas del crisol y del metal.

$$m_{\text{CRISOL}} = 3.63 \text{ Kg.}$$

$$m_{\text{CARGA}} = 6 \text{ Kg.}$$

$$m_{\text{total}} = m_{\text{CRISOL}} + m_{\text{CARGA}} \quad (\text{Ec. 10})$$

$$m_{\text{total}} = 9.63 \text{ Kg.}$$

6.6.9.5. Cantidad de energía a utilizar en base al peso.

La cantidad de energía que se utilizara en relación al total de la masa a calentar.

$$E = Q_{\text{TOTAL}} * m_{\text{total}} \quad (\text{Ec. 11})$$

$$E = 62163.38 \text{ KJ/Kg.}$$

6.6.9.6. Pérdidas de calor por las paredes durante el funcionamiento continuo.

Cuando se trata de un flujo calorífico uniforme la pérdida de calor para una superficie de pared dada y para una determinada temperatura del horno es menor si la pared es más gruesa, si se construye con un material más aislante o si la superficie exterior de la pared es de tal naturaleza que no da calor con rapidez al medio ambiente. [W. Trinks. Hornos industriales. Vol 1.Pg. 126].

6.6.9.7. Modelo matemático de transferencia de Calor.

6.6.9.7.1. Flujo de calor a través de las paredes cilíndricas del horno.

Como se va a trabajar con una temperatura sobre los 1085 °C, es notable que exista pérdida de calor a través de las paredes que conforman el horno de fundición.

Existe primero un calor por convección dentro de la cámara, posterior a este hay calor por conducción a través de las paredes a la superficie exterior en la cual se disipara por convección.

Para el cual se realizara el circuito térmico equivalente para una pared cilíndrica compuesta, pues nuestra pared está construida con diferentes tipos de materiales refractarios y aislantes, los mismos que serán sometidos a nuestros estudios, como se muestra en la figura 32.

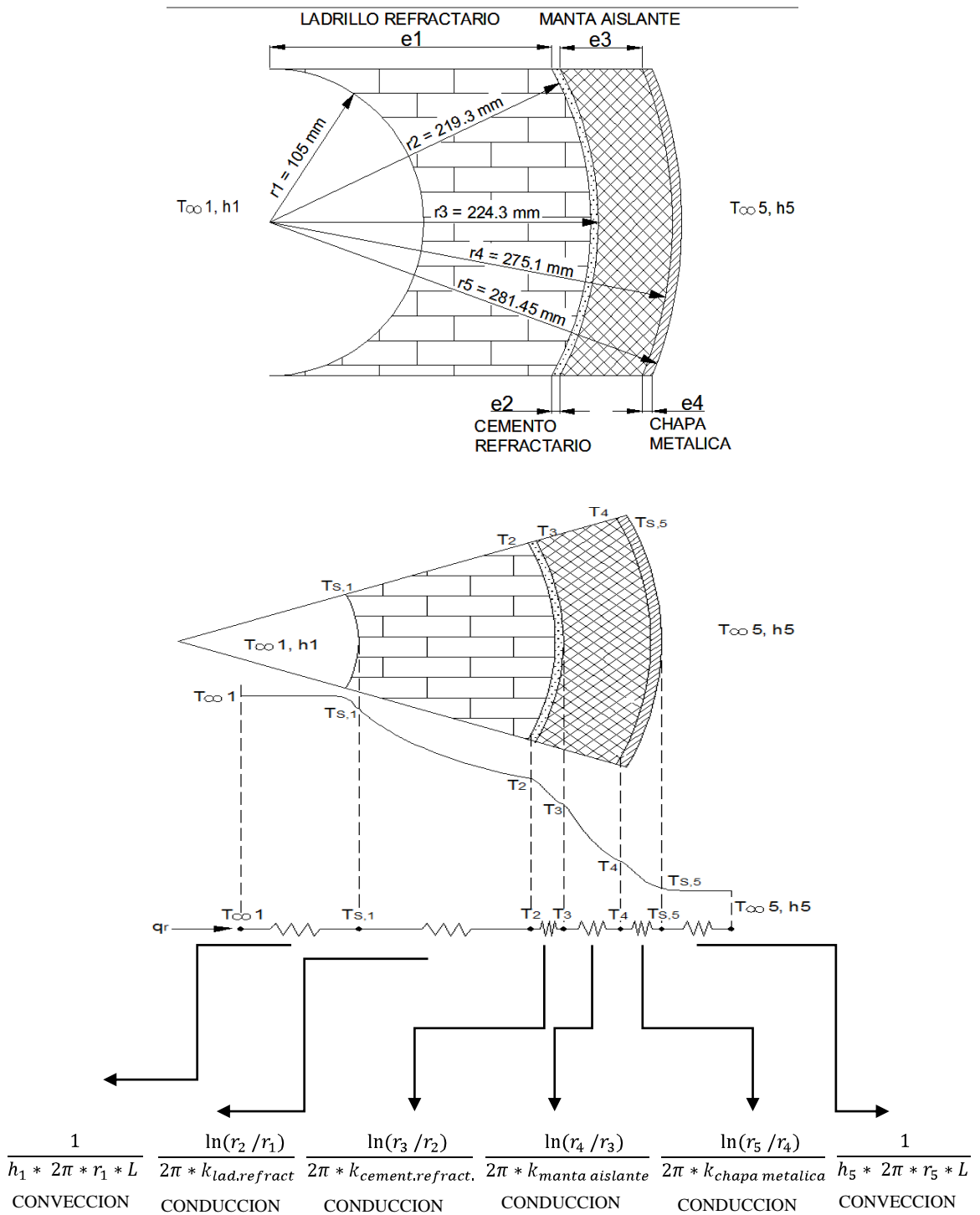


FIGURA 32. Modelo matemático de transferencia de calor a través de una pared cilíndrica
Elaborado: Byron Chango P.

Considerando el sistema compuesto de la figura 32, que expresa las componentes de transferencia de calor a través de una pared cilíndrica compuesta.

6.6.9.7.2. Pérdidas de calor.

(Ec. 12)

$$q_r = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,5}}{\frac{1}{2\pi * r_1 * h_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi * k_{lad.refract.*L}} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi * k_{cement.refract.*L}} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi * k_{manta aistant.*L}} + \frac{\ln(r_5/r_4)}{2\pi * k_{chapa metal.*L}} + \frac{1}{2\pi * r_5 * h_5}}$$

La misma que se puede expresar en términos de un coeficiente global de transferencia de calor.

$$q_r = \frac{T_{\infty,1} + T_{\infty,5}}{Resist.} \quad (Ec. 13)$$

Para hallar la pérdida total de calor q_r , debemos hallar las perdidas parciales a través de la pared cilíndrica que podemos observar en la Fig. 32.

6.6.9.7.3. Pérdidas por convección del aire a 1085°C.

$$R_{cnv.} = \frac{1}{h_1 * 2\pi * r_1 * L} \quad (Ec. 14)$$

$$R_{cnv.1} = 3.243 * 10^{-3}$$

Dónde:

$R_{cnv.1}$ = Resistencia por convección del aire

h_1 = Entalpia a 1085°C. = 1465.101 KJ/Kg. (Ver Anexo 1)

L = Altura de la cámara de combustión. 0.319 m.

r_1 = Radio desde el centro de la cámara a la pared del ladrillo refractario. (Fig. 32).

6.6.9.7.4. Pérdidas por conducción a través del ladrillo refractario.

$$R_{cnd.1} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi * k_{lad.refract.*L}} \quad (Ec. 15)$$

$$R_{cnd.1} = 0.244$$

Dónde:

$R_{cnd.1}$ = Resistencia por conducción a través del ladrillo refractario

$k_{lad.refract.}$ = Conductividad térmica de ladrillo refractario (1085°C) = 1.5 W/m*°K
(Ver Anexo 11).

6.6.9.7.5. Pérdidas por conducción a través del cemento refractario.

$$R_{cnd.2} = \frac{\ln(r_3 / r_2)}{2\pi * k_{cement.refract.} * L}$$

$$R_{cnd.2} = 8.53 * 10^{-3}$$

Dónde:

$R_{cnd.2}$ = Resistencia por conducción a través del cemento refractario

$k_{cement.refract.}$ = Conductividad térmica de cemento refractario (1085°C) = 1.4
W/m*°K (Ver Anexo 11).

6.6.9.7.6. Pérdidas por conducción a través de la manta aislante.

$$R_{cnd.3} = \frac{\ln(r_4 / r_3)}{2\pi * k_{manta\ aislante} * L}$$

$$R_{cnd.3} = 0.266$$

Dónde:

$R_{cnd.3}$ = Resistencia por conducción a través de una manta aislante.

$k_{manta\ aislante}$ = Conductividad térmica de la manta aislante (1085°C) = 0.3825
W/m*°K. (Ver Anexo 2), manta Durablanket con una densidad de 96 Kg/m³.

6.6.9.7.7. Pérdidas por conducción a través de la chapa metálica.

$$R_{cnd.4} = \frac{\ln(r_5/r_4)}{2\pi * k_{chapa\ metal.} * L}$$

$$R_{cnd.4} = 3,65 * 10^{-4}$$

Dónde:

$R_{cnd.4}$ = Resistencia por conducción a través de la chapa metálica.

$k_{chapa\ metal}$ = Conductividad térmica de la chapa metálica (1085°C) = 0.3825 W/m*°K. (Ver Anexo 12, Tabla A1, Icropera. Acero puro).

6.6.9.7.8. Perdidas por convección del aire exterior a 20°C.

$$R_{cnv.2} = \frac{1}{2\pi * r_5 * h_5} \quad (\text{Ec. 16})$$

$$R_{cnv.2} = 6,16 * 10^{-3}$$

Dónde:

$R_{cnv.2}$ = Resistencia por convección del aire externo a 20°C

h_5 = Entalpia a 20°C. = 290.18 KJ/Kgr (Ver Anexo 10)

L = Altura de la cámara de combustión. 0.319 m

r_5 = Radio desde el centro de la cámara a la parte externa de la chapa metálica. (Fig.24).

6.6.9.7.9. Pérdida de Calor del Sistema.

Evaluando la ecuación 12. Tenemos que:

$$q_r = \frac{1085 - 20}{3,243 * 10^{-3} + 0,244 + 8,53 * 10^{-3} + 0,266 + 3,65 * 10^{-4} + 6,16 * 10^{-3}}$$

$$q_r = 2015.9 \text{ W}$$

6.6.9.8 Rendimiento del horno.

Se obtiene a partir del calor necesario para fundir el material Q_{TOTAL} , y el calor total perdido q_r .

Rendimiento térmico:

$$\eta = \frac{Q_{TOTAL}}{Q_{TOTAL} + q_r} \quad (\text{Ec. 17})$$

$$\eta = \frac{1793.105}{1793.105 + 2015.9}$$

$$\eta = 0.47$$

6.6.9.9. Potencia.

Para obtener la potencia del horno relacionamos el calor necesario para calentar la carga del metal en un determinado tiempo en función del rendimiento.

$$P = \frac{Q_{TOTAL}}{\eta * t} \quad (\text{Ec. 18})$$

$$P = \frac{1793.105}{0.47 * 1}$$

$$P = 3815.11 \text{ W}$$

6.6.10.2. Energía aportada por el combustible.

La energía aportada en [Kcal], es igual al consumo en [Lt], por la densidad en [Kg/Lt] y por el poder calorífico del combustible seleccionado, para este caso es el diésel en [Kcal/Kg].

En la tabla 12, nos fijamos en los valores de:

El poder calorífico de él diésel es 10877 Kcal/Kg.

La densidad del diésel es 0.843 Kg/Lt.

Entonces la fórmula para el cálculo de la energía aportada por el diésel será.

$$Ed = Ct \times \delta_{diesel} \times Pc \quad (\text{Ec. 19})$$

$$Ed = Ct \times 0.843 \times 10877$$

$$Ed = 9169 Ct$$

En donde:

- Ed = Energía aportada por el diésel.
- Ct = Consumo total
- δ_{diesel} = densidad del diésel
- Pc = Poder calorífico del diésel

Cabe indicar que la energía aportada por el combustible estará en función del tiempo. Esta puede realizarse de acuerdo a la evolución del consumo diésel (hora, día, mes, etc.).

La práctica de fundición de cobre está destinada a una hora, utilizaremos un quemador a diésel con una boquilla 3.5 galones por hora, si cada galón es equivalente a 4.546 Lt. Entonces utilizaremos 15.91 Lt., con esta cantidad de combustible se fundirá 6 Kg. de cobre, aproximadamente.

Se calcula entonces la energía aportada por el diésel en una hora:

$$Ed = 9169 Ct$$

$$Ed = 9169 \times 15.91$$

$$Ed = 145.879 \text{ cal/hora}$$

$$Ed = 625.37 \text{ J/hora}$$

6.6.11. Estructura Metálica.

La estructura metálica del horno de crisol basculante se ha diseñado en base a materiales existentes en el mercado nacional, esta estructura es capaz de soportar primero su propio peso, luego los demás componentes tales como son: los ladrillos refractarios, el concreto refractario, la manta cerámica, la chapa de acero y el crisol el cual será el que contenga el material fundido.

Cada uno de los elementos que conforman el horno es analizado a continuación, considerando su disponibilidad en el mercado.

6.6.11.1. Determinación de Cargas.

Para establecer el peso del horno debemos considerar todas las partes que conforman el mismo.

TABLA 40.

Determinación de pesos de cada componente que constituyen en horno de crisol basculante.

ELEMENTO	PESO (Lb)	PESO (Kg)
Chapa de Acero	129.8	59
Ladrillo refractario	277.2	126
Concertó refractario	15	6.82
Manta cerámica	25.05	11.39
Crisol	2.93	1.33
TOTAL	450	204.54

Fuente: *Autor*

Del total calculado en la tabla 40 se debe tener en cuenta un factor de sobrecarga de aproximadamente un 10% del total para obtener el peso neto del horno.

TABLA 41.

Peso del horno con factor de sobrecarga del 10%.

Peso total	204.54
Sobre carga 10%	20.54
Total:	224.99

Fuente: Autor

La temperatura afecta a las propiedades mecánicas de los materiales como por ejemplo, su resistencia, ductilidad, y fragilidad, su efecto también sus propiedades estáticas de los aceros tales como se observa en la figura 32.

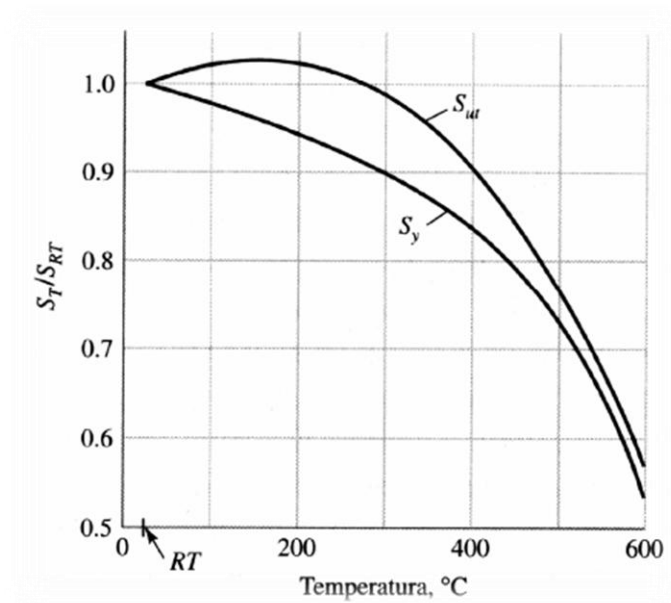


FIGURA 33. Propiedades de los materiales con respecto a la temperatura.

Fuente: *Shigley J. Resistencia de Materiales, Edit. McGRAW-HILL*

Al observar la figura 33 se define que la resistencia a la tensión solo cambia hasta alcanzar cierta temperatura y que a partir de ella decae con rapidez, sin embargo la resistencia a la fluencia disminuye en forma continua a medida que la temperatura va en aumento, así como un incremento sustancial de la ductilidad del material.

6.6.11.2 Tipos de esfuerzos.

Para el presente estudio detallaremos las fórmulas de los tres tipos de esfuerzos fundamentales.

6.6.11.2.1 Esfuerzo Axial.

$$\sigma_a = \frac{F}{A} \quad (\text{Ec. 20})$$

Dónde:

F = carga axial (Kg)

A = Área (cm²)

6.6.11.2.2 Esfuerzo de Torsión.

$$\tau = \frac{T * r}{J} \quad (\text{Ec. 21})$$

Dónde:

T = Momento Torsor. (Kg/cm²)

r = distancia al eje neutro. (cm)

J = momento polar de inercia. (cm⁴)

6.6.11.2.3 Esfuerzo de Flexión.

$$\tau_f = \frac{M * y}{I_p} \quad (\text{Ec. 22})$$

Dónde:

M = Momento Flector. (Kg/cm)

y = Distancia al eje neutro (cm)

I_p = momento polar de inercia. (cm^4)

6.6.11.3. Dimensionamiento de las rejillas de soporte.

Para el dimensionamiento de este elemento se procede a establecer el perfil metálico de mayor longitud, siendo este el diámetro del eje que está soportando la carga de distribuida, que será el peso total del horno especificado en la tabla 40.

Entonces al tener un peso de 224.99 Kg, correspondiente al peso total del horno y una distancia de 0.1 m., desde la chapa metálica hasta la chumacera al ser ésta muy corta se puede considerar una carga distribuida en toda su longitud, como se indica en la figura 34.

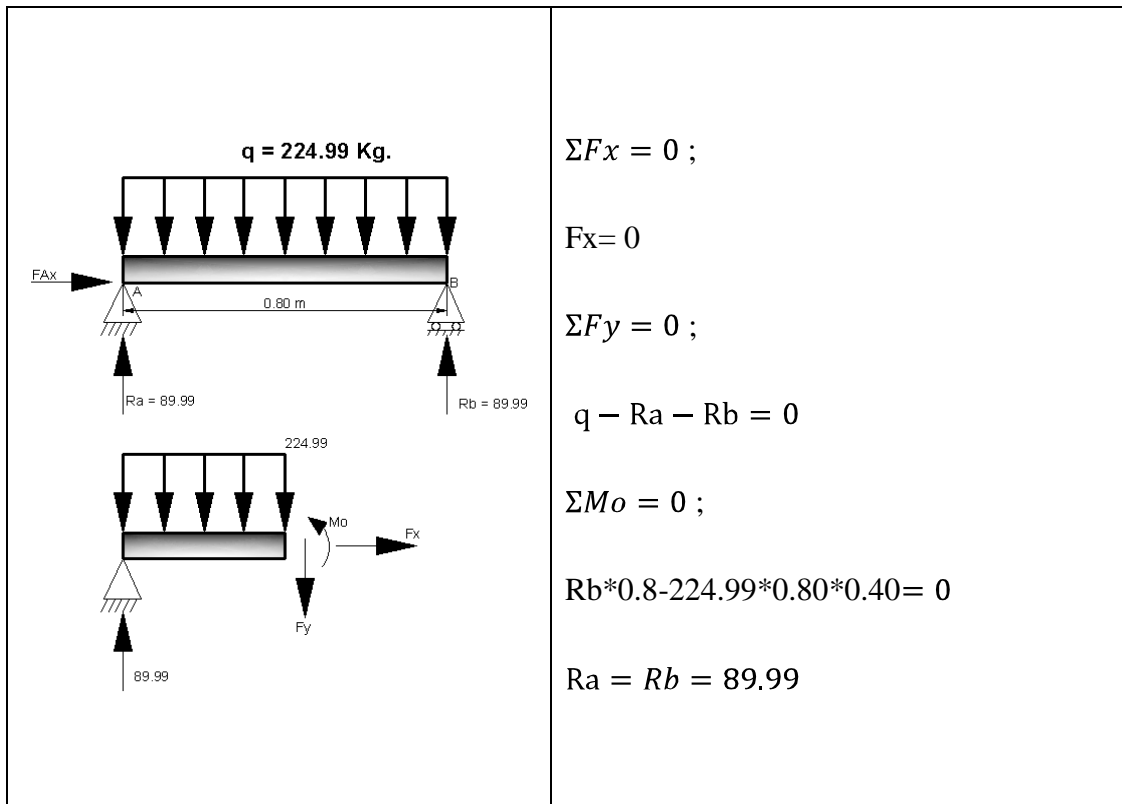


FIGURA 34. Análisis de esfuerzos en rejilla de soporte

Fuente: Autor.

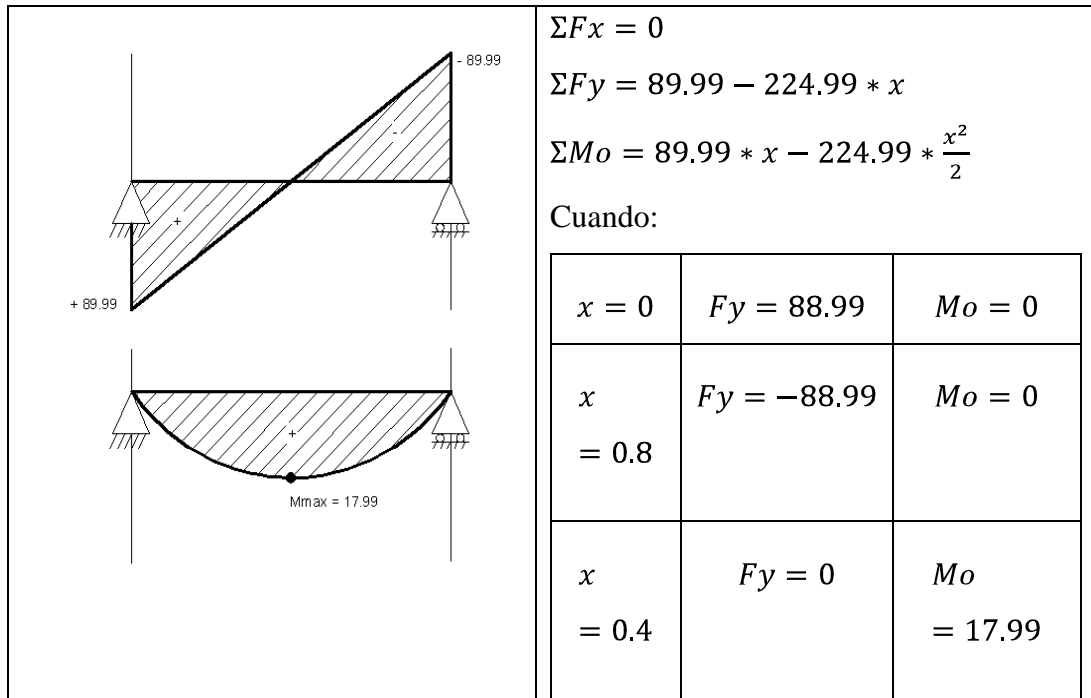


FIGURA 35. Diagrama de esfuerzos cortantes y Momentos flexionantes en rejilla de soporte.
Fuente: Autor.

En el diagrama de momentos podemos determinar el momento máximo de flexión igual a 17.99 Kg *m, el cual se encuentra a la mitad del elemento, en $p = 0.40$ m.

Dicho esfuerzo máximo que posee el elemento corresponde al esfuerzo de Vonn Misses, así:

$$\sigma' = \sigma_{Max} \quad (Ec. 23)$$

Dónde:

σ' = Esfuerzo de Vonn Misses

σ_{Max} = Ezfuerzo ocaocionado por la flexion del elemento.

Evaluando el factor de seguridad para este elemento se tiene que:

$$n = \frac{S}{\sigma} \quad (Ec. 24)$$

Dónde:

S = Resistencia a la fluencia 300 Kpsi. (Ver Anexo 12, AISI 1045 estirado en frío)

σ = Esfuerzo 17.99 Kg.m

De cual obtenemos un factor de seguridad de 1.14

La barra de soporte que se encuentra entre el cojinete y la chapa de acero del horno está soportando esfuerzos de flexión y torsión, como se puede apreciar en la figura 36 los puntos A y B son los puntos críticos.

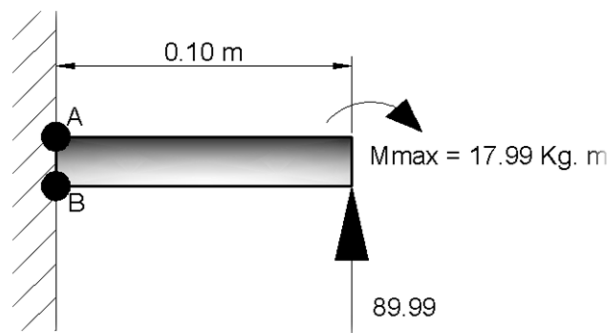


FIGURA 36. Fuerzas que actúan en la barra situada entre la chapa metálica del cilindro y el cojinete de soporte.

Fuente: Autor

En caso de una barra maciza, el esfuerzo cortante vale cero en el centro y máximo en la superficie.

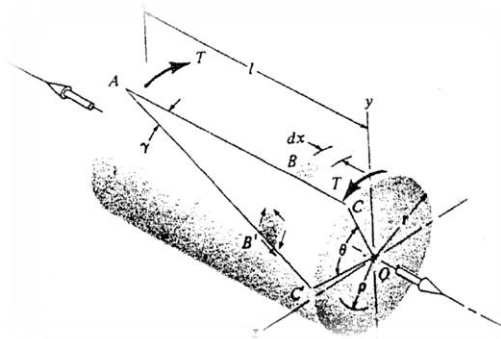


FIGURA 37. Análisis de esfuerzo a torsión en una barra circular.

Fuente: Shigley J. *Diseño en Ingeniería Mecánica*, 8^a, edición, McGRAW-HILL, pág.72.

De la cual determinamos para en eje de 2 pulg de diámetro, que:

$$J = \frac{\pi d^4}{32} \tag{Ec.25}$$

$$J = 1.57 \text{ pulg}^4$$

También se debe determinar el momento de torsión T, a partir de la potencia a transmitir y la velocidad del eje. La tabla 42, incluye las formulas correspondientes en los dos sistemas de unidades.

TABLA 42.

Fórmulas correspondientes al análisis del momento torsor T, para una barra circular maciza.

Sistema Ingles	Sistema Internacional
$H = \frac{2\pi Tn}{33000 (12)} = \frac{FV}{33000} = \frac{Tn}{63000}$ <p style="text-align: center;">(Ec.26)</p> $T = \frac{63000 H}{n} \tag{Ec. 27}$	$H = T \omega \tag{Ec. 28}$
<p>Dónde:</p> <p>H = potencia (hp)</p> <p>T = momento de torsión. (lb.pulg)</p> <p>n = velocidad de rotación. (rpm)</p> <p>F = fuerza en la superficie exterior. (lb)</p> <p>V = velocidad periférica. (pie/min)</p>	<p>Dónde:</p> <p>H = potencia. (W)</p> <p>T = momento de torsión. (N.m)</p> <p>ω = velocidad angular. (rad/s)</p>

Fuente: Shigley J. *Diseño en Ingeniería Mecánica*, 8^a edición, Edit. McGRAW-HILL pág. 73.

Evaluando la ecuación Ec. 27.

$$H = 1 \text{ hp}$$

$$n = 720 \text{ rpm.}$$

$$T = 87.5 \text{ lb} * \text{pulg}$$

Evaluando la Ec. 21, tenemos.

$$\tau_{max} = 55.73 \text{ Psi.}$$

$$\tau_{max} = 383.9 \text{ MPa.}$$

6.6.11.4. Determinación del tipo de soldadura entre el eje y el cilindro del horno.

La soldadura para este tipo de diseño se lo realizara por todo el perímetro manteniendo de esta manera un adecuado empotramiento entre el eje y la chapa metálica del cilindro de nuestro horno de fundición.

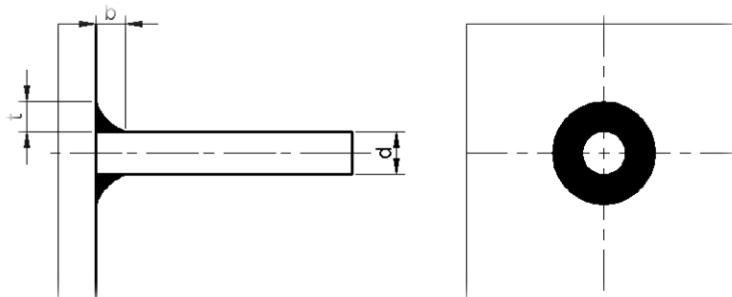


FIGURA 38. Análisis de esfuerzo a torsión en una barra circular.

Fuente: *Autor*.

La figura 38 muestra que la soldadura soporta dos tipos de esfuerzos, los esfuerzos normales y de torsión, los cuales ya hallamos sus valores al realizar el análisis de esfuerzo a torsión en la barra circular que va soldada a la chapa metálica del cilindro, del cual tenemos un esfuerzo de 55.73 Psi, y su equivalente de 383.9 MPa.

Para determinar el tipo de soldadura según los esfuerzos calculados revisamos la norma AWS D1.3/D1.3M:2008, (Ver Anexo 13), la misma que en el grupo

A570/A570M, nos indica que para esfuerzos de 55 Psi, o su equivalente 380 MPa, podemos realizarlo con un proceso SMAW AWS A5.5, o a su vez con E70XX-XX.

De los resultados obtenidos y teniendo en cuenta las normas establecidas por AWS de soldadura, utilizaremos con un proceso soldadura eléctrica con la utilización de electrodos E7018, de 7/32 de diámetro con una inclinación de 45°, características que nos darán un mejor acabado.

BIBLIOGRAFÍA.

- METAL HANDBOOK, selection and Application Of Copper and Copper Alloy Castings, Vol.2 USA, 1989.
- MALISHER A. 1975. Tecnología de los metales, 7ª Edición. Ed. Mir
- NEELY John E. 2002. Metalurgia y Materiales Industriales, 3ª Edición. Editorial Limusa.
- MANGONON Pat L. 2011. Ciencia de Materiales: Selección y Diseño, 1ª Edición. Editorial Pearson Education, México.
- ICROPERA, F. (1999), Fundamentos de transferencia de Calor, 4ª Edición. Prentice Hall, México
- SHACKELFORD J. (2007). Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros, 4ª Edic. Editorial Printice Hall.
- TRINKS W. Hornos Industriales. Vol.
- SHIGLEY J. Resistencia de Materiales, Edit. McGRAW-HILL
- SHIGLEY J. Diseño en Ingeniería Mecánica, 8ª, edición, McGRAW-HILL.
- Norma INEN 607

PAGINAS WEB

www.formoso.com/proceso.php?id=59

<https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0607.1981.pdf> (NORMAS TECNICAS INEN 607 MATERIALESREFRACTARIOS)

<http://www.arwas.com.ar/documentos/T-ESPEL-0594.pdf> (Principales tipos de combustible que pueden ser usados en la operación de los hornos de crisol)

<http://www.broncessilcar.com.ar/home.html> (Tabla comparativa de bronce SILCAR BRONCES)

<http://www.u-cursos.cl/ingenieria/2010/1/ME43B/1/.../272073>

<http://imageshack.us/f/203/medidascrisoles.jpg/> (Especificaciones técnicas crisol A6.)

ANEXOS

ANEXO 1

TABLA A-3

Propiedades de metales sólidos

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), k(W/m · K)/c _p (J/kg · K)						
		ρ kg/m ³	c_p J/kg · K	k W/m · K	$\alpha \times 10^6$ m ² /s	100	200	400	600	800	1 000	
Aluminio:												
Puro	933	2 702	903	237	97.1	302	237	240	231	218		
						482	798	949	1 033	1 146		
Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2 770	875	177	73.0	65	163	186	186			
Aleación 195, fundido (4.5% Cu)		2 790	883	168	68.2	473	787	925	1 042			
						990	301	161	126	106	90.8	
						203	1 114	2 191	2 604	2 823	3 018	
Bismuto												
	545	9 780	122	7.86	6.59	16.5	9.69	7.04				
						112	120	127				
Boro												
	2 573	2 500	1 107	27.0	9.76	190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85	
						128	600	1 463	1 892	2 160	2 338	
Cadmio												
	594	8 650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7				
						198	222	242				
Cromo												
	2 118	7 160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4	
						192	384	484	542	581	616	
Cobalto												
	1 769	8 862	421	99.2	26.6	167	122	85.4	67.4	58.2	52.1	
						236	379	450	503	550	628	
Cobre:												
Puro	1 358	8 933	385	401	117	482	413	393	379	366	352	
						252	356	397	417	433	451	
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	1 293	8 800	420	52	14		42	52	59			
							785	160	545			
Bronce al fósforo para engranes (89% Cu, 11% Sn)	1 104	8 780	355	54	17		41	65	74			
							—	—	—			
Latón para cartuchos (70% Cu, 30% Zn)	1 188	8 530	380	110	33.9	75	95	137	149			
							360	395	425			
Constantán (55% Cu, 45% Ni)	1 493	8 920	384	23	6.71	17	19					
						237	362					
Germanio												
	1 211	5 360	322	59.9	34.7	232	96.8	43.2	27.3	19.8	17.4	
						190	290	337	348	357	375	
Oro												
	1 336	19 300	129	317	127	327	323	311	298	284	270	
						109	124	131	135	140	145	
Iridio												
	2 720	22 500	130	147	50.3	172	153	144	138	132	126	
						90	122	133	138	144	153	
Hierro:												
Puro	1 810	7 870	447	80.2	23.1	134	94.0	69.5	54.7	43.3	32.8	
						216	384	490	574	680	975	
Armco (99.75% puro)		7 870	447	72.7	20.7	95.6	80.6	65.7	53.1	42.2	32.3	
						215	384	490	574	680	975	
Aceros al carbono:												
Simple al carbono (Mn \leq 1%, Si \leq 0.1%)		7 854	434	60.5	17.7			56.7	48.0	39.2	30.0	
								487	559	685	1 169	
AISI 1010		7 832	434	63.9	18.8			58.7	48.8	39.2	31.3	
								487	559	685	1 168	
Al carbono-silicio (Mn \leq 1%, 0.1% < Si \leq 0.6%)		7 817	446	51.9	14.9			49.8	44.0	37.4	29.3	
								501	582	699	971	

ANEXO 2

Fiberfrax® Durablanket® Z

FIBERFRAX DURABLANKET Z

La manta Fiberfrax Durablanket Z es una manta para alta temperatura fabricada a partir de fibra cerámica centrifugada estabilizada con circonio. Es un aislante muy efectivo con una retracción extremadamente baja a temperaturas elevadas, baja capacidad de almacenamiento de calor, y completa resistencia a daños por choque térmico. La manta Fiberfrax Durablanket Z está especialmente recomendada en los revestimientos de hornos de alta temperatura.

Hay disponibles Hojas de Datos individuales para otros productos del rango Durablanket.

PARAMETROS TÍPICOS DEL PRODUCTO

Durablanket Z			
<i>Análisis Químico Típico (wt.%)</i>			
SiO ₂	52.0 - 56.0		
Al ₂ O ₃	28.0 - 32.0		
ZrO ₂	14.0 - 18.0		
Alcalis	<0.25		
Fe ₂ O ₃ + TiO ₂	<0.2		
<i>Propiedades Físicas</i>			
Color	Blanco		
Temperatura de clasificación (°C) *	1400		
Punto de fusión (°C)	1740		
Diametro medio de fibra (micrones)	3.25		
Calor específico a 1000°C (J/kgK)	1035		
<i>Contracción Lineal Permanente (%) 24 horas remojo</i>			
1400 °C	2.7		
<i>Densidad (kg/m³)</i>	96	128	160
<i>Conductividad Térmica (W/mK)</i>			
<i>Temp. media</i>			
800 °C	0.24	0.19	0.18
1000 °C	0.34	0.27	0.25
1200 °C	0.44	0.36	0.33

DISPONIBILIDAD

Espesores (mm)	Densidad (kg/m ³)			Largura Rollo (m)
	96	128	160	
13	✓	✓	✓	14.64
19	✓	✓	✓	10.00
25	✓	✓	✓	7.32
38	✓	✓	✓	5.00
50	✓	✓		3.66

Anchura estandar del rollo 610mm.

Otros espesores / medidas pueden estar disponibles bajo petición, sujetos a cantidades mínimas de pedido. Mantas con recubrimiento de lámina de aluminio y otros, pueden estar disponibles sujetos a cantidades mínimas de pedido.

INFORMACION DE MANEJO

Se han editado Fichas de Seguridad de los Materiales que describen la seguridad, higiene y propiedades ambientales de este producto, identificando los riesgos potenciales y advirtiendo sobre precauciones en el manejo y procedimientos de emergencia. Estas deben ser consultadas y entendidas completamente antes de manipular, almacenar o usar.

ANEXO 3

TIPOS	NORMAS			COMPOSICION QUIMICA									PROPIEDADES FISICAS			Aplicaciones Generales
	SAE	ASTM	DIN	Cobre Cu	Estaño Sn	Plomo Pb	Zinc Zn	Niquel Ni	Fósforo P	Hierro Fe	Aluminio Al	Manganeso Mn	Resistencia a la tracción Kg./mm ²	Alargamiento %	Dureza Brinell	
BRONCES FOSFOROSOS	40	B145-4A	1705 Rg 5	84 86	4 6	4 6	4 6	1 Max	—	0.3	0.005	—	21	18	60	Bujes y piezas con cargas y velocidades normales; válvulas, cuerpos de bomba, rotores.
	62	B143-1A	1705 Rg 10	86 89	9 11	0.3	1 3	1 Max	—	0.15	0.005	—	28	20	75	Cojinetes y piezas de fricción que soportan grandes esfuerzos y elevada temperatura. Anillos de empuje, discos de fricción, manguitos de bomba, crapodinas, anillos colectores; bujes de pasadores de pistón y balancines, guías de válvulas, cojinetes, rodillos, cuerpos de válvulas para elevadas presiones, prensaestopas.
	63			86 89	9 11	2.5	0.75	1 Max	0.25	0.15	0.005	—	25	10	68	Bronce de gran elasticidad muy apto para engranajes, coronas, tornillos sinfin, tuercas y piezas dentadas en general; madreñas de prensas de fricción o impacto, placas de fricción.
	65		1705 G. Sn Bz 10	88 90	10 12	0.5	0.5	1 Max	0.1 0.3	0.15	0.005	—	25	10	75	Bronce de gran elasticidad muy apto para engranajes, coronas, tornillos sinfin, tuercas y piezas dentadas en general; madreñas de prensas de fricción o impacto, placas de fricción.
	620	B143-1B		86 89	7.5 9	0.3	3 5	1 Max	—	0.15	0.005	—	28	20	68	Material de grano fino resistente a la presión hidráulica y de vapor; camisas de bombas, válvulas de vapor, accesorios para calderas.
	621	B143-2B		85 89	7.5 9	1	3 5	1 Max	—	0.25	0.005	—	25	18	65	Cojinetes y bujes de: barcos, puentes, máquinas herramientas, pasadores de compresores; ruedas helicoidales con pequeñas velocidades de deslizamiento, engranajes menores, camisas de calandras.
	622	B143-2A		86 90	5.5 6.5	1 2	3 5	1 Max	—	0.25	0.005	—	24	22	63	Bronces muy duros y excelentes anticorrosivos, especiales para soportar grandes esfuerzos, impactos y elevada temperatura; impulsores de bombas centrífugas para agua con materiales en suspensión, guías de válvulas para motores de competición, asientos de válvulas, bujes de bielas, cajas de cambio, pasadores de pistón, balancines, descansos y guías de laminadoras, prensas excéntricas, grúas, Engranajes, coronas, piñones y piezas sometidas a grandes esfuerzos.
	640		1705 G. SnBz 12	85 88	10 12	1 1.5	0.5	0.75 1.50	0.2 0.3	0.3	0.005	—	25	10	100	Bronces muy duros y excelentes anticorrosivos, especiales para soportar grandes esfuerzos, impactos y elevada temperatura; impulsores de bombas centrífugas para agua con materiales en suspensión, guías de válvulas para motores de competición, asientos de válvulas, bujes de bielas, cajas de cambio, pasadores de pistón, balancines, descansos y guías de laminadoras, prensas excéntricas, grúas, Engranajes, coronas, piñones y piezas sometidas a grandes esfuerzos.
	640A		1705 G. Sn Bz 14	85 87	13 15	1	0.5	1 Max	0.2	0.2	0.005	—	18	3	115	Bronces muy duros y excelentes anticorrosivos, especiales para soportar grandes esfuerzos, impactos y elevada temperatura; impulsores de bombas centrífugas para agua con materiales en suspensión, guías de válvulas para motores de competición, asientos de válvulas, bujes de bielas, cajas de cambio, pasadores de pistón, balancines, descansos y guías de laminadoras, prensas excéntricas, grúas, Engranajes, coronas, piñones y piezas sometidas a grandes esfuerzos.
BRONCES ANTIFRICCIÓN	64	B144-3A	1716 G. SnPb Bz 10	78 82	9 11	8 11	0.75	0.5 Max	0.25	0.15	0.005	—	20	8	60	Cojinetes que trabajan con mucha carga hasta 700 r.p.m. Bujes y descansos de usos severos; hornos para cemento, laminadoras, trapiches, palas mecánicas, perforadoras, equipo pesado.
	66	B144-3C		83 86	4.5 6	8 10	2	0.5 Max	—	0.2	0.005	—	18	8	50	Material standard para aplicaciones generales en ejes semiduros con buena lubricación; motores eléctricos, maquinaria agrícola, rodillos de cintas transportadoras, maquinaria textil.
	660	B144-3B	1705 Rg 7	81 85	6.25 7.50	6 8	2 4	0.5 Max	0.15	0.2	0.005	—	21	12	55	Bujes de: montacargas y ascensores con cargas y velocidades normales, poleas, elásticos, roldanas.
	67	B144-3D	1716 G. Sn Pb Bz 15	76.5 79.5	5 7	14 18	1.5	0.75 Max	0.05	0.4	0.005	—	15	10	45	Recomendado para velocidades que oscilan entre las 500 y 1 500 r.p.m. con ejes blandos o lubricación deficiente.
BRONCES AL ALUMINIO	68 A	B148-9A/B	1714 G. Fe Al Bz F50	86 89	—	—	—	—	—	1 4	8.5 11.5	0.5	46	20	130	68 A y B : Coronas, engranajes, tornillos sinfin, ruedas helicoidales, hélices de barcos, cuerpos e impulsores de bombas, bulonería para uso marino, piezas y tuberías para condensadores, cojinetes de empuje, cestas, cadenas y ganchos para decapado, industria química y papelería. Piezas mecánicas sometidas a golpes en medios corrosivos. 68 C : Cuerpos e impulsores de bombas, guías y colizas, matricería para embutido de chapa de acero, matricería para vidrio, mordazas para soldadura por resistencia, herramientas antichispa, guías de válvulas para motores diesel de alta performance, pernos de pistón y biela para motores diesel.
	68 B	B148-9C		84 88	—	—	—	—	—	2 4	9 11	1	65	18	165	
	68 C		1714 G. Ni Al Bz F68	73 80	—	—	—	4.5 7	—	4 6	9 12	1.5 2.5	75	8	220	
BRONCES AL MANGANESO	43	B147-8A	1709 G. So Ms F30	55 60	1	0.4	Resto	0.5	—	0.4 2	0.5 1.5	1.5	46	20	120	Pernos, tuercas, brazos, vástagos y partes menores; piezas para la industria naval.
	430 A	B147-8B	1709 G. So Ms F45	60 68	0.2	0.2	Resto	0.5	—	2 4	3 6	2.5 5	63	18	170	Aleaciones de gran dureza y resistencia al desgaste. Usos estructurales, engranajes, tornillos sinfin, levas, guías de válvulas, ejes, patines para trenes de laminación, mariposas, piezas de cilindros hidráulicos, bujes de puentes, pernos y émbolos.
	430 B	B147-8C	1709 G. So Ms F75	60 68	0.2	0.2	Resto	0.5	—	2 4	5 7.5	2.5 5	78	12	230	

ANEXO 4







QUIENES SOMOS

PRODUCTOS

TABLA COMPARATIVA DE DIFERENTES TIPOS DE BRONCE

TABLA DE PESOS DE BUJES Y BARROTOS

CONTACTENOS

TABLA COMPARATIVA DE DIFERENTES TIPOS DE BRONCE

A efectos de mejor proveer, se consigna cuadro comparativo de diferentes tipo de bronce:

	BRONCE FOSFOROSO SAE 65	BRONCE AL PLOMO SAE 84	BRONCE ALUMINIO
<i>PESO ESPECIFICO</i>	8	9	6.8
<i>DUREZA BRINELL</i>	65	50	140/330
<i>RESISTENCIA MECANICA</i>	20KG/MM ²	14KG/MM ²	70KG/MM ²
<i>ALARGAMIENTO</i>	10%	7%	0,000016CM/CM X C

TABLA COMPARATIVA DE DIFERENTES TIPOS DE BRONCE


ERECOS

empresa de refractarios colombianos s.a.

LADRILLOS REFRACTARIOS SILICO-ALUMINOSOS

U-33

Clasificación NTC - 773, ASTM C-27	Super Refractarios Super Duty
Análisis Químico (%)	
Al ₂ O ₃	42.5
SiO ₂	52.5
Fe ₂ O ₃	1.5
TiO ₂	2.0
CaO	0.3
MgO	0.3
Alcalis	0.5
Cono Pirométrico Equivalente (PCE)	34
Temperatura equivalente (°C) NTC -706, ASTM C-24	1763
Porosidad aparente (%) NTC -674, ASTM C-20	20.0 - 24.0
Densidad aparente (g/cm ³) NTC -674, ASTM C-20	2.13 - 2.23
Resistencia a la compresión en frío. Mpa (kg/cm ²) NTC -682, ASTM C-133	25.0 - 37.0 (250 - 370)
Módulo de ruptura en frío. Mpa (kg/cm ²) NTC -682, ASTM C-133	7.5 -13.5 (75 - 135)
Cambio lineal permanente a 1600 ° C (%) NTC - 688, ASTM C - 113	0.5C - 2.0 C
Deformación bajo carga en caliente a 1450 ° C (%) NTC - 1107, ASTM C - 16	2.0 - 3.5

Los datos anteriores se basan en los resultados promedios de las pruebas de control sobre lotes de producción industrial de ladrillos normales prensados de 9" utilizando los procedimientos descritos en las Normas Técnicas Colombianas y ASTM donde ellas sean aplicables y no deben emplearse para efectos de especificaciones garantizadas. Pueden presentarse variaciones de los resultados dependiendo del tamaño, forma o proceso de fabricación.
C= Contracción

1993-01-17

ANEXO 6



ERECOS

empresa de refractarios colombianos s.a.

MORTEROS REFRACTARIOS SILICO ALUMINOSOS

SUPERAEROFRAX

Clasificación	Super refractario
NTC - 765 , NTC - 851	
Tipo de Mortero	Húmedo de fraguado al aire
Análisis Químico %	
Al ₂ O ₃	43.0
SiO ₂	50.3
Fe ₂ O ₃	1.8
TiO ₂	2.1
CaO	0.2
MgO	0.3
Alcalis	2.0
Cono Pirométrico Equivalente (PCE)	32 ½
Temperatura equivalente °C	1724
NTC-706, ASTM C-24	
Refractariedad, el mortero no fluye de la junta a °C	1600
NTC-861, ASTM C-199	
Máximo tamaño de grano mm	0.6
Agua de preparación ml/kg mortero para aplicar con palustre para aplicar por inmersión	Como se entrega 60
Kg de mortero requerido para pegar 1000 ladrillos de 9 x 4 1/2 x 2 1/2" con palustre por inmersión	180 160
Presentación	Tambores de 35 kg

Los datos anteriores se basan en los resultados promedios de las pruebas de control sobre lotes de producción industrial, utilizando los procedimientos descritos en las Normas Técnicas colombianas y ASTM donde ellas sean aplicables y no deben emplearse para efecto de especificaciones garantizadas.

1993-01-23


ERECOS

empresa de refractarios colombianos s.a.

CONCRETOS REFRACTARIOS SILICO - ALUMINOSOS

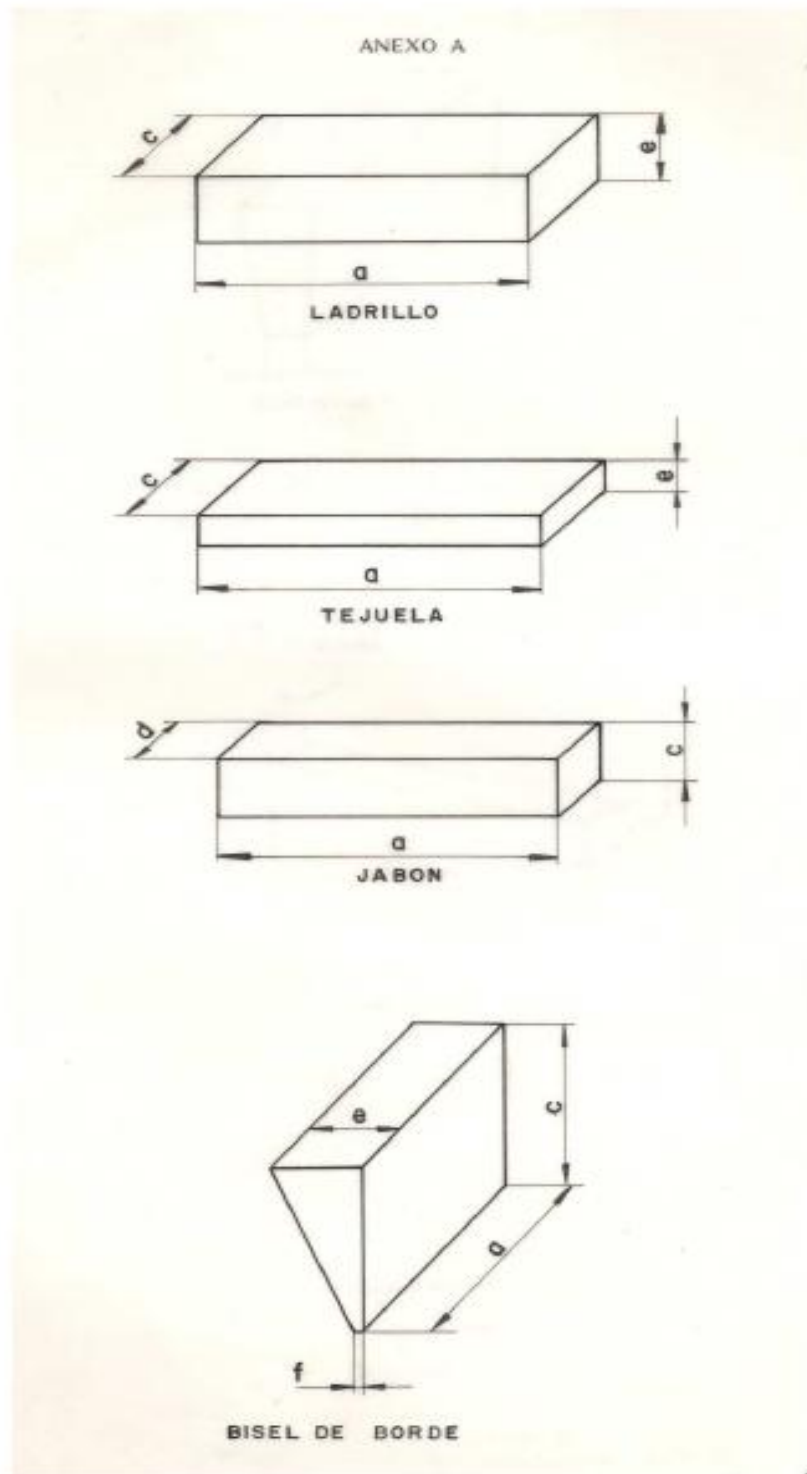
CONCRAX 1500

Clasificación NTC - 814 , ASTM C - 401		Clase D
Análisis Químico %		
Al ₂ O ₃		49.5
SiO ₂		39.0
Fe ₂ O ₃		1.3
TiO ₂		2.0
CaO		7.5
MgO		0.3
Álcalis		0.4
Cono Pirométrico Equivalente (PCE)		32
Temperatura equivalente °C NTC - 706 , ASTM C-24		1717
Máxima temperatura de servicio recomendada °C		1540
Máximo tamaño de grano mm		5
Material seco requerido por metro cúbico kg		2000 - 2100
Agua de preparación cm ³ de agua/kg de material seco NTC - 988 , ASTM C - 860		120 - 135
Densidad volumétrica °C - g/cm ³ ASTM C - 134	110 1000 1260 1370 1480	2.00 - 2.10 1.80 - 1.85 1.85 - 1.90 1.85 - 1.90 1.95 - 2.00
Módulo de ruptura en frío °C - Mpa (kg/cm ²) NTC - 988 , ASTM C-133	110 1000 1260 1370 1480	5.0 - 8.0 (50 - 80) 1.5 - 2.5 (15 - 25) 4.0 - 6.0 (40 - 60) 12.0 - 14.0 (120 - 140) 14.0 - 15.0 (140 - 150)

ANEXO 8

NTE INEN 007

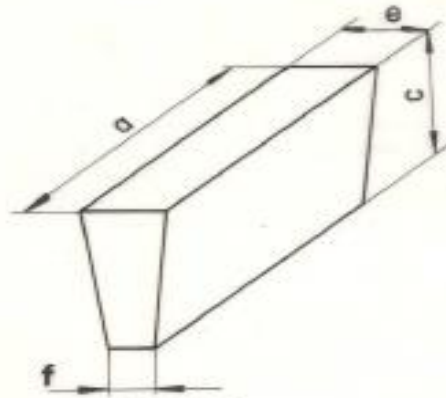
1981-05



ANEXO 9

NTE INEN 607

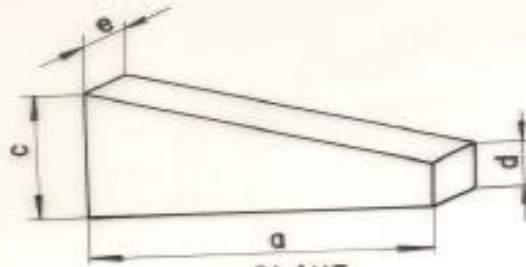
1081-05



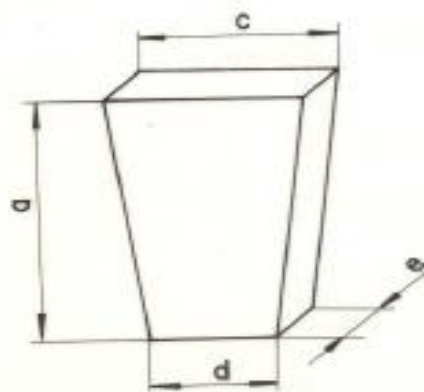
CUCHILLA



CUÑA



CLAVE



LLAVE

ANEXO 10

910 | Tablas de propiedades, figuras y diagramas (unidades SI)

TABLA A-17

Propiedades de gas ideal del aire

T K	h kJ/kg	P_r	u kJ/kg	v_r	s° kJ/kg · K	T K	h kJ/kg	P_r	u kJ/kg	v_r	s° kJ/kg · K
200	199.97	0.3363	142.56	1707.0	1.29559	580	586.04	14.38	419.55	115.7	2.37348
210	209.97	0.3987	149.69	1512.0	1.34444	590	596.52	15.31	427.15	110.6	2.39140
220	219.97	0.4690	156.82	1346.0	1.39105	600	607.02	16.28	434.78	105.8	2.40902
230	230.02	0.5477	164.00	1205.0	1.43557	610	617.53	17.30	442.42	101.2	2.42644
240	240.02	0.6355	171.13	1084.0	1.47824	620	628.07	18.36	450.09	96.92	2.44356
250	250.05	0.7329	178.28	979.0	1.51917	630	638.63	19.84	457.78	92.84	2.46048
260	260.09	0.8405	185.45	887.8	1.55848	640	649.22	20.64	465.50	88.99	2.47716
270	270.11	0.9590	192.60	808.0	1.59634	650	659.84	21.86	473.25	85.34	2.49364
280	280.13	1.0889	199.75	738.0	1.63279	660	670.47	23.13	481.01	81.89	2.50985
285	285.14	1.1584	203.33	706.1	1.65055	670	681.14	24.46	488.81	78.61	2.52589
290	290.16	1.2311	206.91	676.1	1.66802	680	691.82	25.85	496.62	75.50	2.54175
295	295.17	1.3068	210.49	647.9	1.68515	690	702.52	27.29	504.45	72.56	2.55731
298	298.18	1.3543	212.64	631.9	1.69528	700	713.27	28.80	512.33	69.76	2.57277
300	300.19	1.3860	214.07	621.2	1.70203	710	724.04	30.38	520.23	67.07	2.58810
305	305.22	1.4686	217.67	596.0	1.71865	720	734.82	32.02	528.14	64.53	2.60319
310	310.24	1.5546	221.25	572.3	1.73498	730	745.62	33.72	536.07	62.13	2.61803
315	315.27	1.6442	224.85	549.8	1.75106	740	756.44	35.50	544.02	59.82	2.63280
320	320.29	1.7375	228.42	528.6	1.76690	750	767.29	37.35	551.99	57.63	2.64737
325	325.31	1.8345	232.02	508.4	1.78249	760	778.18	39.27	560.01	55.54	2.66176
330	330.34	1.9352	235.61	489.4	1.79783	780	800.03	43.35	576.12	51.64	2.69013
340	340.42	2.149	242.82	454.1	1.82790	800	821.95	47.75	592.30	48.08	2.71787
350	350.49	2.379	250.02	422.2	1.85708	820	843.98	52.59	608.59	44.84	2.74504
360	360.58	2.626	257.24	393.4	1.88543	840	866.08	57.60	624.95	41.85	2.77170
370	370.67	2.892	264.46	367.2	1.91313	860	888.27	63.09	641.40	39.12	2.79783
380	380.77	3.176	271.69	343.4	1.94001	880	910.56	68.98	657.95	36.61	2.82344
390	390.88	3.481	278.93	321.5	1.96633	900	932.93	75.29	674.58	34.31	2.84856
400	400.98	3.806	286.16	301.6	1.99194	920	955.38	82.05	691.28	32.18	2.87324
410	411.12	4.153	293.43	283.3	2.01699	940	977.92	89.28	708.08	30.22	2.89748
420	421.26	4.522	300.69	266.6	2.04142	960	1000.55	97.00	725.02	28.40	2.92128
430	431.43	4.915	307.99	251.1	2.06533	980	1023.25	105.2	741.98	26.73	2.94468
440	441.61	5.332	315.30	236.8	2.08870	1000	1046.04	114.0	758.94	25.17	2.96770
450	451.80	5.775	322.62	223.6	2.11161	1020	1068.89	123.4	776.10	23.72	2.99034
460	462.02	6.245	329.97	211.4	2.13407	1040	1091.85	133.3	793.36	23.29	3.01260
470	472.24	6.742	337.32	200.1	2.15604	1060	1114.86	143.9	810.62	21.14	3.03449
480	482.49	7.268	344.70	189.5	2.17760	1080	1137.89	155.2	827.88	19.98	3.05608
490	492.74	7.824	352.08	179.7	2.19876	1100	1161.07	167.1	845.33	18.896	3.07732
500	503.02	8.411	359.49	170.6	2.21952	1120	1184.28	179.7	862.79	17.886	3.09825
510	513.32	9.031	366.92	162.1	2.23993	1140	1207.57	193.1	880.35	16.946	3.11883
520	523.63	9.684	374.36	154.1	2.25997	1160	1230.92	207.2	897.91	16.064	3.13916
530	533.98	10.37	381.84	146.7	2.27967	1180	1254.34	222.2	915.57	15.241	3.15916
540	544.35	11.10	389.34	139.7	2.29906	1200	1277.79	238.0	933.33	14.470	3.17888
550	555.74	11.86	396.86	133.1	2.31809	1220	1301.31	254.7	951.09	13.747	3.19834
560	565.17	12.66	404.42	127.0	2.33685	1240	1324.93	272.3	968.95	13.069	3.21751
570	575.59	13.50	411.97	121.2	2.35531						

ANEXO 11

Apéndice B Tablas y gráficas

B-11

TABLA B-8 Propiedades térmicas de algunos materiales (unidades SI).

Material	Temperatura, T , K	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, c_p , kJ/kg · K	Conductivi- dad térmica, κ , W/m · K	Viscosidad, μ_k , g/m · s
<i>Sólidos no metálicos</i>					
Arcilla	300	1,460	0.880	1.30	
Arena	300	1,515	0.80	0.30	
Asbesto	300	2,100	1.047	0.156	
Aserrín	300	215		0.059	
Asfalto	300	2,115	0.920	0.062	
Concreto	300	2,300	0.880	1.40	
Ebonita	300		1.382		
Fibra de vidrio	300	220		0.035	
Hielo	273	920	2.00	2.20	
Hule					
Espuma	300	70		0.032	
Duro	300	1,190	2.01	0.16	
Ladrillo					
Común	300	1,600	0.840	0.70	
Refractario	1,000	2,640	0.960	1.50	
Mampostería	300	1,700	0.837	0.66	
Lámina de corcho	300	160	1.90	0.045	
Lámina de fieltro	300			0.035	
Lana	300	90		0.036	
Lana de roca	300	160		0.040	
Lana de vidrio	300	40	0.70	0.038	
Lana mineral (colchonetas)	300			0.039	
Madera (Transv. al hilo)					
Balsa	300	140		0.055	
Pino (amarillo)	300	640	2.805	0.15	
Encino	300	545	2.385	0.17	
Terciada	300	550	1.200	0.12	
Nieve					
Suelta	273	110		0.05	
Empacada	273	500		0.19	
Piedra					
Granito	300	2,630	0.775	2.79	
Caliza	300	2,320	0.810	2.15	
Arenisca	300	2,150	0.745	2.90	
Piel (humana)	300		3.60	0.37	
Poliestireno (espuma de estireno)	300	37		0.029	
Poliuretano (espuma, rígida)	300	40		0.023	
Suelo	300	2,050	1.840	0.52	
Tablarroca	300	817	1.084	0.107	
Teflon®	300	2,200	1.00	0.35	
Vermiculita					
Suelta	300	80	0.835	0.068	
Vidrio	300	2,500	0.750	1.40	

ANEXO 12

Tabla A-18 PROPIEDADES DE ALGUNOS ACEROS DE ALTA RESISTENCIA

Número AISI	Procesamiento	Dureza Brinell H_B	Módulo de elasticidad E , Mpsi	Resistencia	Resistencia	Reducción en área %	Resistencia	Ductilidad real a la ruptura ϵ_f	Exponente de
				de fluencia ^b S_y , kpsi	última S_u , kpsi		real a la ruptura, kpsi		endurecimiento por deformación, n
1045	Q & T 80°F	705	29	265T ² 300C	300	2	310T 420C	0.02	0.186
1045	Q & T 360°F	595	30	270	325	41	430/ 395	0.52	0.071
1045	Q & T 500°F	500	30	245	265	51	370/ 330	0.71	0.047
1045	Q & T 600°F	450	30	220	230	55	345/ 305	0.81	0.041
1045	Q & T 720°F	390	30	185	195	59	315/ 270	0.89	0.044
4142	Q & T 80°F	670	29	235T 275C	355	6	375	0.06	0.136
4142	Q & T 400°F	560	30	245	325	27	405/ 385	0.31	0.091
4142	Q & T 600°F	475	30	250	280	35	340/ 315	0.43	0.048
4142	Q & T 700°F	450	30	230	255	42	320/ 290	0.54	0.043

ANEXO 13

AWS D1.3/D1.3M:2008

CLAUSE 1, GENERAL PROVISIONS

Suf. Resist. Material base.

Table 1.2
Matching Filler Metal Requirements (see 1.4.1)

Group No.	ASTM Steel Specifications	Minimum Yield Point		Minimum Tensile Strength		AWS Filler Metal Specifications
		ksi	MPa	ksi	MPa	
A109	Temper 4			48	330	SMAW AWS A5.1 E60XX, E70XX
A570/A570M	Gr 30	30	205	49	340	<i>Resist. del ched + tiene y ser que Suf</i> SMAW AWS A5.5 E70XX-XX (Note a)
	Gr 33	33	230	52	360	
	Gr 36	36	250	53	365	
	Gr 40	40	275	55	380	
	Gr 45	45	310	60	415	
A572/A572M	Gr 42	42	290	60	415	SAW AWS A5.17
A607	Gr 45	45	310	65	450	E6AX-EXXX, F7AX-EXXX,
A611	Gr A	25	170	42	290	P6AX-ECXXX, F7AX-ECXXX
	Gr B	30	205	45	310	
	Gr C Type 1	33	230	48	330	
	Gr D Type 1	40	275	52	360	
A653/A653M SS	Gr 33	33	230	45	310	SAW AWS A5.23 F7AX-EXXX-XX, F7AX-ECXX-XX (Note a)
	Gr 37	37	255	52	360	
	Gr 40	40	275	55	380	
A653/A653M HSLAS	Gr 50 Type A and B	50	340	60	410	
A715	Gr 50	50	345	60	415	GMAW/GTAW AWS A5.18
A792/A792M	Gr 33	33	230	45	310	ER70S-X, E70C-XC, E70C-XM
	Gr 37	37	255	52	360	
	Gr 40	40	275	55	380	
A1008/A1008M SS	Gr 25	25	170	42	290	GMAW/GTAW AWS A5.28 ER70S-XXX, E70C-XXX (Note a)
	Gr 30	30	205	45	310	
	Gr 33 Type 1	33	230	48	330	
	Gr 40 Type 1	40	275	52	360	
A1008/A1008M HSLAS	Gr 45 Class 1 and 2	45	310	55/60	380/410	
A1008/A1008M HSLAS-F	Gr 50	50	340	60	410	
A1011/A1011M SS	Gr 30	30	205	49	340	FCAW AWS A5.20 E7XT-X, E7XT-XC, E7XT-XM
	Gr 33	33	230	52	360	
	Gr 36 Type 1	36	250	53	365	
	Gr 40	40	275	55	380	
	Gr 45	45	310	60	410	
A1011/A1011M HSLAS	Gr 45 Class 1 and 2	45	310	55/60	380/410	FCAW AWS A5.29 E6XTX-X, E6XTX-XC, E7XTX-X, E7XTX-XC, E6XTX-XM, E7XTX-XM (Note a)
	Gr 50 Class 2	50	340	60	410	
A1011/A1011M HSLAS-F	Gr 50	50	340	60	410	
A109	Temper 3			55	380	SMAW AWS A5.1 E70XX
A529/A529M	Gr 50	50	345	70	485	SMAW AWS A5.5 E70XX-X (Note a)
	Gr 55	55	380	70	485	
A570/A570M	Gr 50	50	345	65	450	SAW AWS A5.17 F7AX-EXXX, F7AX-ECXXX
	Gr 55	55	380	70	480	
A572/A572M	Gr 50	50	345	65	450	SAW AWS A5.17 F7AX-EXXX, F7AX-ECXXX
	Gr 55	55	380	70	480	

(Continued)

ANEXO 14.

Productos de acero laminados		PERFILES HUECOS CUADRADOS										TABLA 15 . 6															
Perfil □ mm	A cm ²	P kg/m	Dimensiones				Términos de sección					Suministro	Perfil □ mm	A cm ²	P kg/m	Dimensiones				Términos de sección					Suministro		
			b	e	r	u	<i>I_T</i>	<i>S_x</i>	<i>I_x</i>	<i>W_x</i>	<i>i_x</i>					b	e	r	u	<i>I_T</i>	<i>S_x</i>	<i>I_x</i>	<i>W_x</i>	<i>i_x</i>			
40	2	2,90	2,28	40	2	5	151	11,3	2,04	6,60	3,40	1,53	P	80	3	8,93	7,01	80	3	8	307	140	12,8	86,0	21,7	3,11	P
	3	4,13	3,24	40	3	8	147	15,6	2,80	9,01	4,51	1,48	P		4	11,6	9,11	80	4	10	303	180	16,3	109	27,2	3,06	P
	4	5,21	4,09	40	4	10	143	18,9	3,40	10,5	5,26	1,42	P		5	14,1	11,1	80	5	13	299	217	19,5	128	32,0	3,01	P
45	2	3,30	2,59	45	2	5	171	16,3	2,61	9,94	4,42	1,74	C	90	3	10,1	7,95	90	3	8	347	202	16,4	126	37,9	3,52	P
	3	4,73	3,71	45	3	8	167	22,9	3,65	13,4	5,95	1,68	C		4	13,2	10,4	90	4	10	343	281	21,1	159	35,4	3,47	P
	4	6,01	4,72	45	4	10	163	26,2	4,45	15,9	7,07	1,63	C		5	16,1	12,7	90	5	13	339	316	25,3	189	41,9	3,42	P
50	2	3,70	2,91	50	2	5	191	22,7	3,30	13,9	5,57	1,94	P	100	3	11,3	8,85	100	3	8	387	279	20,1	175	35,0	3,93	P
	3	5,33	4,18	50	3	8	187	32,0	4,62	19,0	7,59	1,89	P		4	14,8	11,6	100	4	10	383	363	26,4	223	44,6	3,88	P
	4	5,81	5,35	50	4	10	183	39,9	5,73	22,9	9,15	1,83	P		5	18,1	14,3	100	5	13	379	440	31,9	266	53,1	3,83	P
55	2	4,10	3,22	55	2	5	211	30,5	4,04	18,9	6,86	2,14	C	120	3	11,3	8,85	100	3	8	387	279	20,1	175	35,0	3,93	P
	3	5,93	4,68	55	3	8	207	43,4	5,70	25,9	9,43	2,09	C		4	18,0	14,1	120	4	10	463	638	38,5	397	66,2	4,70	P
	4	7,61	5,97	55	4	10	203	54,5	7,13	31,6	11,5	2,04	C		5	22,1	17,4	120	5	13	459	780	47,2	478	79,6	4,64	P
60	2	4,50	3,33	60	2	5	231	39,9	4,80	24,8	8,28	2,35	P	140	3	11,3	8,85	100	3	8	387	279	20,1	175	35,0	3,93	P
	3	6,53	5,13	60	3	8	227	57,1	6,85	34,4	11,5	2,30	P		4	26,1	20,5	140	4	13	539	260	65,6	780	111	5,46	P
	4	8,41	6,60	60	4	10	223	72,2	8,66	42,3	14,1	2,24	P		5	30,7	24,3	140	5	15	534	480	76,8	905	129	5,41	P
70	2	5,10	3,76	70	2	5	271	64,1	6,71	40,3	11,5	2,76	P	160	3	11,3	8,85	100	3	8	387	279	20,1	175	35,0	3,93	P
	3	7,73	6,07	70	3	8	267	92,6	9,60	56,6	16,2	2,71	P		4	40,0	31,4	140	4	20	526	890	97,5	1130	161	5,30	P
	4	10,1	7,96	70	4	10	219	85,2	10,2	48,5	16,2	2,19	C		5	30,1	23,7	160	5	13	619	1901	86,9	1190	149	6,29	P
70	2	5,30	4,16	70	2	5	271	64,1	6,71	40,3	11,5	2,76	P	170	3	11,3	8,85	100	3	8	387	279	20,1	175	35,0	3,93	P
	3	7,73	6,07	70	3	8	267	92,6	9,60	56,6	16,2	2,71	P		4	35,7	28,0	160	4	15	614	2240	102	1390	173	6,23	P
	4	10,0	7,86	70	4	10	263	118	12,2	70,4	20,1	2,85	P		5	46,4	36,5	160	5	20	609	2890	131	1740	218	6,13	P
70	2	5,12	3,93	70	2	5	259	141	14,5	82,0	23,4	2,60	P	170	3	11,3	8,85	100	3	8	387	279	20,1	175	35,0	3,93	P
	3	7,73	6,07	70	3	8	267	92,6	9,60	56,6	16,2	2,71	P		4	32,1	25,2	170	4	13	659	2290	98,7	1440	169	6,69	C
70	2	5,12	3,93	70	2	5	259	141	14,5	82,0	23,4	2,60	P	170	3	11,3	8,85	100	3	8	387	279	20,1	175	35,0	3,93	P
	3	7,73	6,07	70	3	8	267	92,6	9,60	56,6	16,2	2,71	P		4	38,1	29,9	170	4	15	654	2710	116	1680	198	6,64	C
70	2	5,12	3,93	70	2	5	259	141	14,5	82,0	23,4	2,60	P	170	3	11,3	8,85	100	3	8	387	279	20,1	175	35,0	3,93	P
	3	7,73	6,07	70	3	8	267	92,6	9,60	56,6	16,2	2,71	P		4	49,6	39,0	170	4	20	646	3410	149	2120	249	6,53	P

ANEXO 15.

Tabla De Chi Cuadrado Grados libertad	Probabilidad de un valor superior - Alfa (α)				
	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	2.71	3.84	5.02	6.63	7.88
2	4.61	5.99	7.38	9.21	10.6
3	6.25	7.81	9.35	11.34	12.84
4	7.78	9.49	11.14	13.28	14.86
5	9.24	11.07	12.83	15.09	16.75
6	10.64	12.59	14.45	16.81	18.55
7	12.02	14.07	16.01	18.48	20.28
8	13.36	15.51	17.53	20.09	21.95
9	14.68	16.92	19.02	21.67	23.59
10	15.99	18.31	20.48	23.21	25.19
11	17.28	19.68	21.92	24.73	26.76
12	18.55	21.03	23.34	26.22	28.3
13	19.81	22.36	24.74	27.69	29.82
14	21.06	23.68	26.12	29.14	31.32
15	22.31	25	27.49	30.58	32.8
16	23.54	26.3	28.85	32	34.27
17	24.77	27.59	30.19	33.41	35.72
18	25.99	28.87	31.53	34.81	37.16
19	27.2	30.14	32.85	36.19	38.58
20	28.41	31.41	34.17	37.57	40
21	29.62	32.67	35.48	38.93	41.4
22	30.81	33.92	36.78	40.29	42.8
23	32.01	35.17	38.08	41.64	44.18
24	33.2	36.42	39.36	42.98	45.56
25	34.38	37.65	40.65	44.31	46.93
26	35.56	38.89	41.92	45.64	48.29
27	36.74	40.11	43.19	46.96	49.65
28	37.92	41.34	44.46	48.28	50.99
29	39.09	42.56	45.72	49.59	52.34
30	40.26	43.77	46.98	50.89	53.67
40	51.81	55.76	59.34	63.69	66.77
50	63.17	67.5	71.42	76.15	79.49
60	74.4	79.08	83.3	88.38	91.95
70	85.53	90.53	95.02	100.43	104.21
80	96.58	101.88	106.63	112.33	116.32
90	107.57	113.15	118.14	124.12	128.3
100	118.5	124.34	129.56	135.81	140.17

ANEXO 16

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

HORNO DE CRISOL BASCULANTE DE FUNDICION DE COBRE



INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

Cuando se opera maquinas que generan calor, deben cumplirse algunas normas de seguridad básicas al fin de evitar daños materiales y/o humanos. Por favor tenga en cuenta los siguientes puntos antes de iniciar la operación del horno.

1. Lea detenidamente todas las instrucciones antes de hacer uso de esta máquina.
2. Utilizar el equipo de protección personal durante todo el proceso de fundido.
Guantes
Mandil de cuero
Gafas
Casco
Zapatos adecuados
3. Coloque el horno en una superficie nivelada.
4. No mover la maquina durante el proceso.

5. Nunca mueva o tire del cable de alimentación de corriente. Asegúrese que el cable no este atrapado y/o aplastado.
6. Si el cable de alimentación de corriente presenta fallas, no utilice dicho cable hasta cambiarlo por uno que se encuentre en perfectas condiciones.
7. Verifique que la ventilación del lugar sea la adecuada, la utilización de combustible Diésel produce gases tóxicos que pueden afectar la salud de los ocupantes de esa área.
8. Revise que la ubicación del horno no se encuentre bajo ningún elemento eléctrico o cualquier material que se pueda ver afectado por el calor que produce la llama que emite el horno en su parte superior.
9. Antes de enchufar o desenchufar el cable de alimentación verifique que el encendido del quemador se encuentre en OFF.
10. El quemador debe estar apagado cuando se inicie el vertido de la colada.
11. Ponga especial cuidado cuando se retire el quemador en el momento del vertido. (Mover la estructura base del quemador)
12. Verifique que la conexión del combustible este bien hecha y no haya derramamiento del mismo.
13. Desenchufe el cable de alimentación de energía cuando no esté en uso o se halle en mantenimiento.
14. Nunca utilice líquidos inflamables para realizar trabajos de limpieza.
15. PRECAUCION: Revise que no exista ningún tipo de material inflamable en el área de trabajo.

COMO USAR EL HORNO DE FUNDICION DE CRISOL BASCULANTE

ATENCION: Las superficies del horno están calientes durante y después de su uso.

1. Ubicación del crisol.

El horno esta dimensionado para un crisol A6.

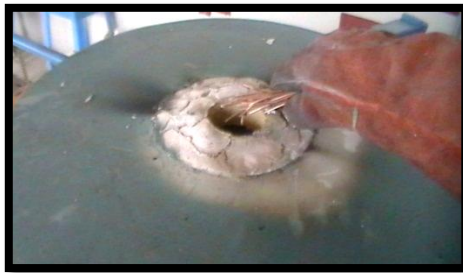
Se debe chequear que la saliente del crisol este diagonal a la salida de la colada del horno.

2. Pre calentamiento del horno.

Antes de colocar la carga se debe precalentar el horno durante 15 minutos aproximadamente con el objetivo de eliminar la humedad que se haya concentrado dentro de la cámara de fundición así como en el crisol.

3. Colocación de la carga en el crisol.

Una vez que se ha calentado el horno colocamos el metal en el crisol teniendo en cuenta que dicho material debe ser cortado a una altura que no sobre pase la parte superior del crisol. Posterior a esto en aproximadamente 40 minutos el metal inicia su cambio de fase (fundición), la masa inicial se reduce transformándose en metal líquido, cuando esto suceda se depositara el resto del material a través de la colocación del mismo por la chimenea del horno, para completar la carga de 6 Kg, que es la capacidad máxima del crisol.



4. Encendido del quemador:

El quemador se encuentra fijado a una estructura diferente a la del horno para movilizarlo de un lado a otro, u ocuparlo en otro equipo.

Para el encendido correcto del quemador se debe seguir los siguientes pasos:

- Asegúrese que el tubo de combinación de aire se encuentre conectado correctamente en el tubo de admisión de calor del horno.



- Iniciar el encendido presionando el botón ON colocado en el panel de control.
- Tener presente que cada vez que el recipiente de combustible se agote, se debe purgar el aire existente en la manguera de combustible, sino se hace este proceso es posible que el quemador deje de funcionar minutos después del encendido. Si esto ocurre se debe presionar el botón de reseteo del quemador durante 15 segundos como indica las especificaciones ubicadas en la placa superior del quemador, e iniciar nuevamente el encendido.
- Si apagamos el quemador durante el proceso de fundición y es necesario nuevamente su encendido, se debe retirar el quemador unos centímetros e iniciar su encendido fuera de horno, colocando un obstáculo en la salida del tubo de combinación de aire el mismo que obstruya la entrada de luz en dicho tubo, pues el encendido se produce por fotoceldas que se encuentran dentro del tubo de combinación de aire. Una vez encendido el quemador colocar cuidadosamente dentro de la entrada de calor del horno, moviéndolo siempre de la estructura.

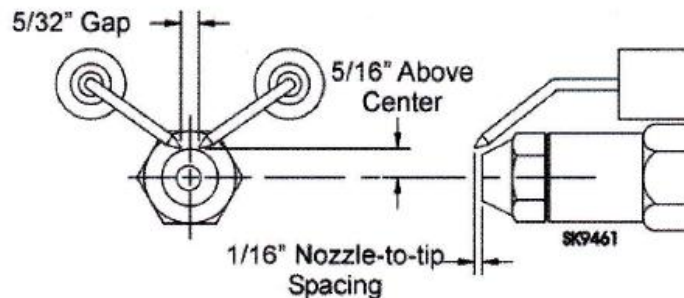


QUEMADOR: Se utiliza un quemador marca Beckett, con una boquilla de 1.5 gal/h.



Chamber Dimensions (Inches)					
Firing Rate (GPH)	Round I.D.	Rectangular		Height	Floor to nozzle
		Width	Length		
0.50	8	7	8	12	5-6
0.75	9	8	9	12	5-6
1.00	10	9	10	12.5	5-6
1.25	11	10	11	12.5	5-6
1.50	12	11	12	13	6-7
2.00	14	12	15	13.5	6-7
2.50	16	13	17	14	7-8
3.00	18	14	18	15	7-8

En caso de falla o cambio de la boquilla del quemador se debe retirar el tubo de combinación de aire, y aflojar el perno de sujeción de los electrodos, retirar la boquilla, colocar la nueva y calibrar los electrodos siguiendo las siguientes especificaciones.



5. Vertido de la colada.

Una vez que se ha obtenido el metal líquido se procede al vertido de material fundido. Para este proceso es necesaria la participación mínima de 3 personas, y respetar los siguientes pasos.

- Apagar el quemador presionando el botón OFF colocado en el panel de control.
- Retirar el quemador tomándolo siempre de la estructura.

- Girar el horno cuidadosamente, colocando a la salida de este un recipiente refractario, el cual nos servirá para transportar la colada a la caja de moldeo.

MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA DEL HORNO

EL horno requiere un ligero mantenimiento para su buen funcionamiento.

1. Siempre apague el quemador, desenchufe el cable de alimentación de energía y espere que el horno se enfríe por completo antes de limpiarlo o moverlo.
2. Verifique el estado de las paredes de la cámara de calor si no tienen fisuras o cuarteaduras, en caso se haberlas repararlas con material refractario.
3. Chequear el estado del crisol, no debe tener ningún tipo de desgaste para evitar el rompimiento del mismo y derrame de la colada durante el proceso de fundición.
4. Observe que la manta aislante este a la misma altura de la cámara de calor, de no estarlo completarla con el mismo tipo de material.
5. Evitar la entrada de humedad a la cámara de calor, manteniendo cerrada la tapa del horno.
6. Evite enrollar el cable de alimentación alrededor del horno.

Es normal que con el uso la pintura experimente cambios de su coloración en ciertas zonas. Esto no afecta el funcionamiento.

Elementos que pueden ser fundidos en este horno.

Metal o aleación	Temperatura de fusión °C
Estaño	232
Plomo	327
Zinc	420
Magnesio	650
Aluminio	657
Latón	900
Bronce	900 a 960
Cobre	1083

Especificaciones Técnicas

Capacidad de carga:	6 Kg.
Combustible:	Diésel
Alimentación:	110 V.
Temperatura máxima de trabajo:	1200 °C

1

2

3

4

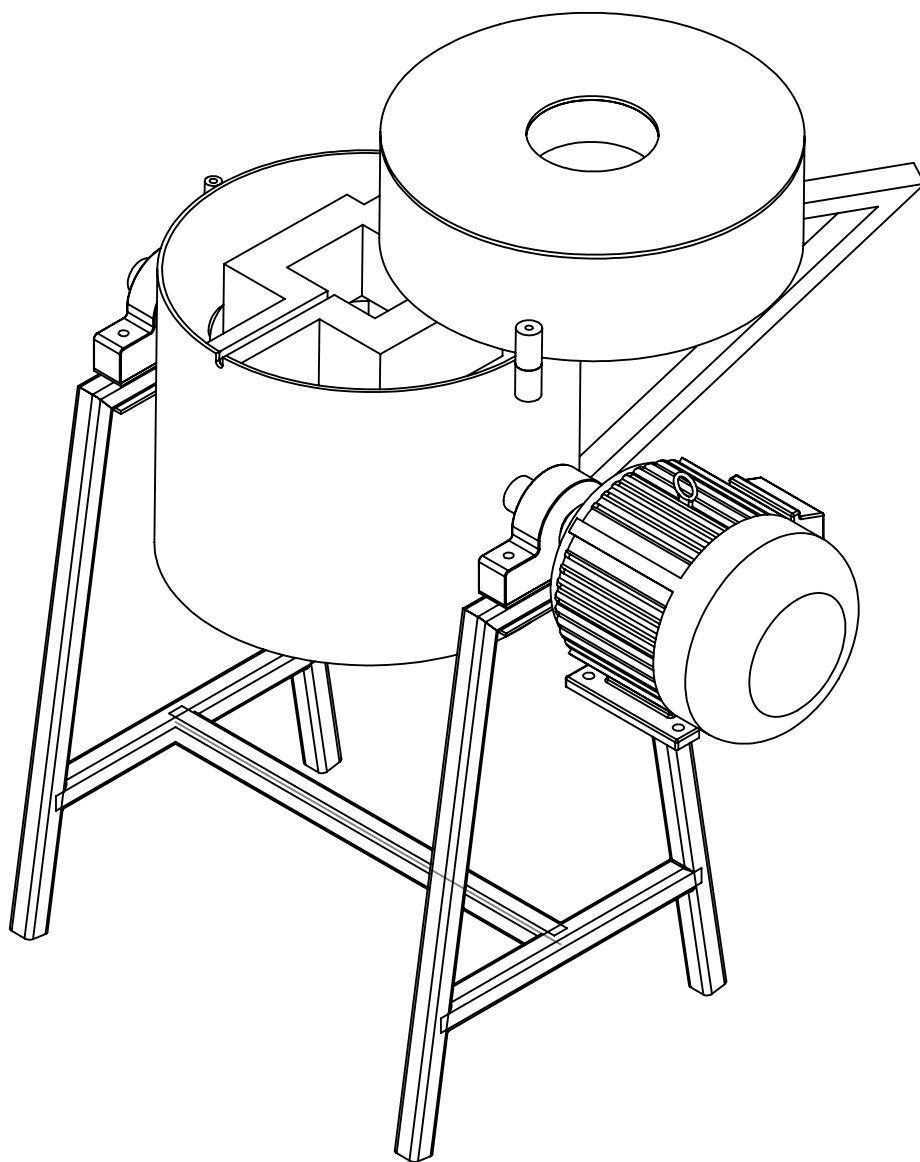
A

B

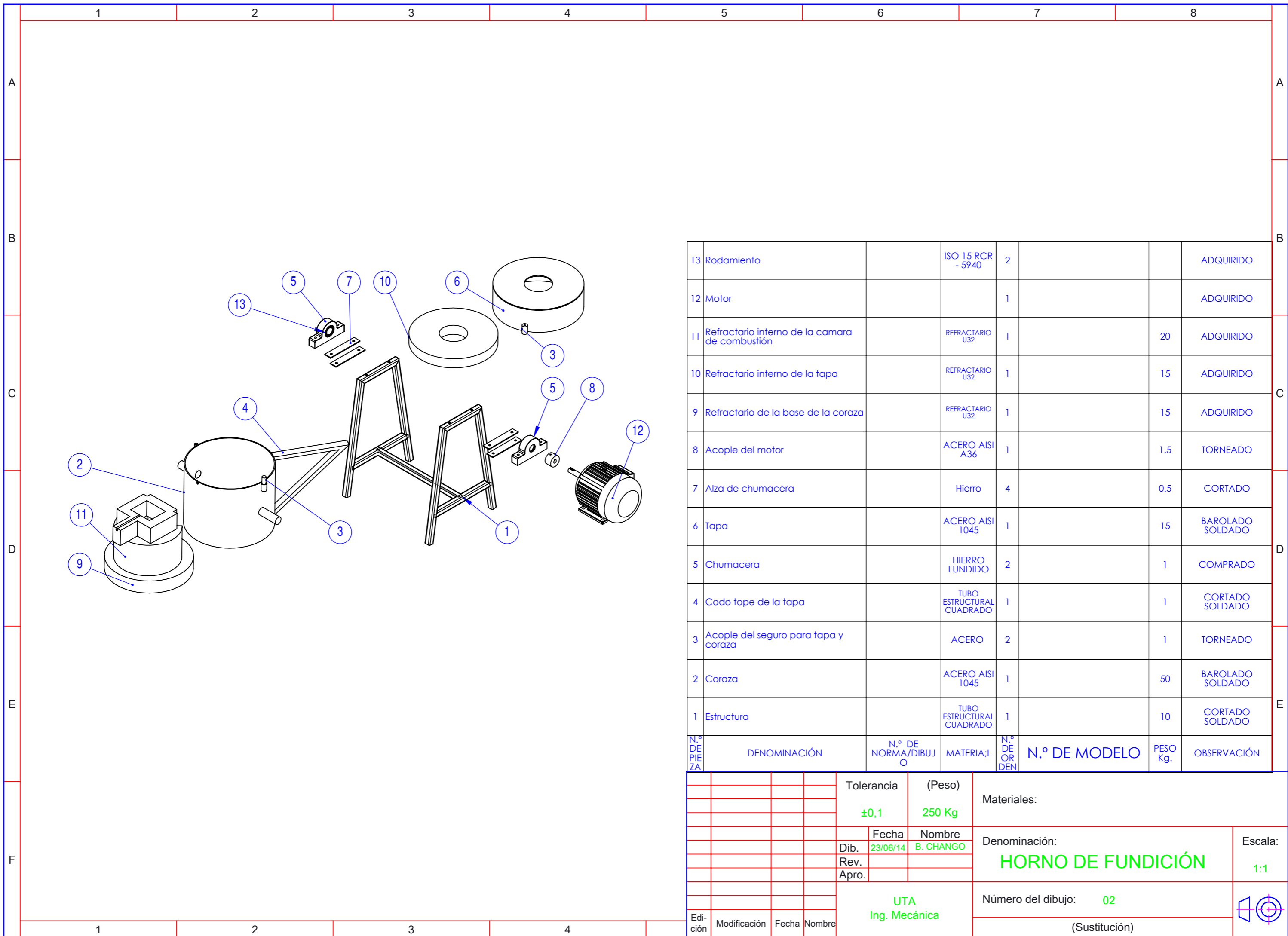
C

D

E

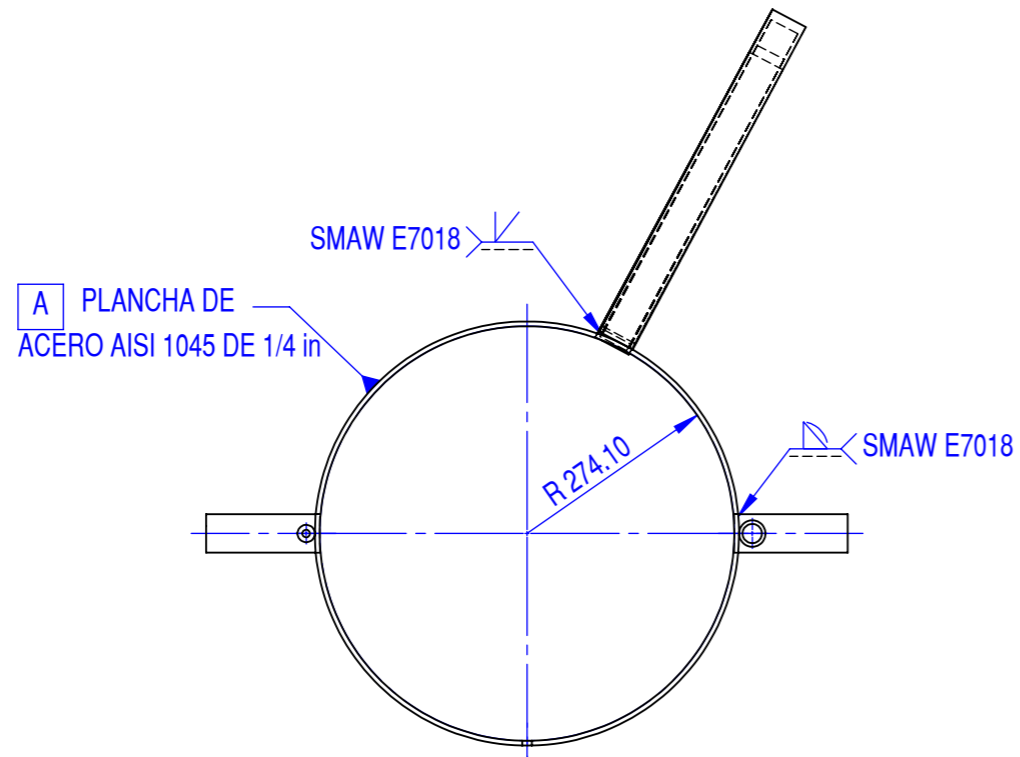
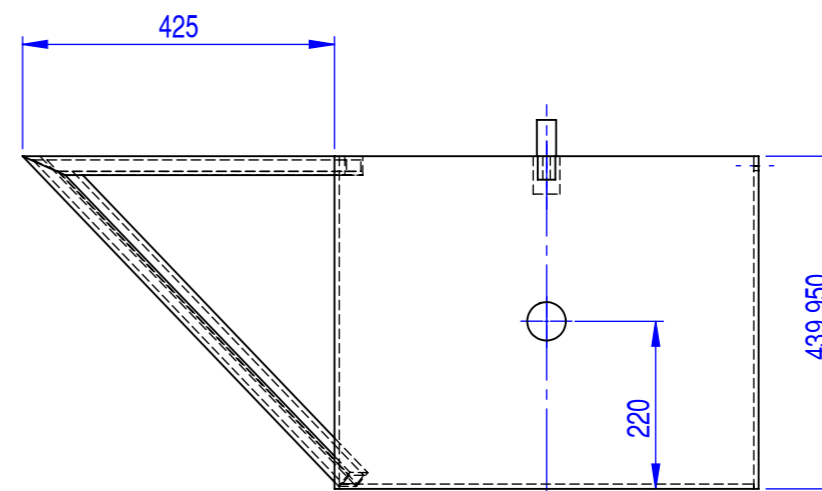
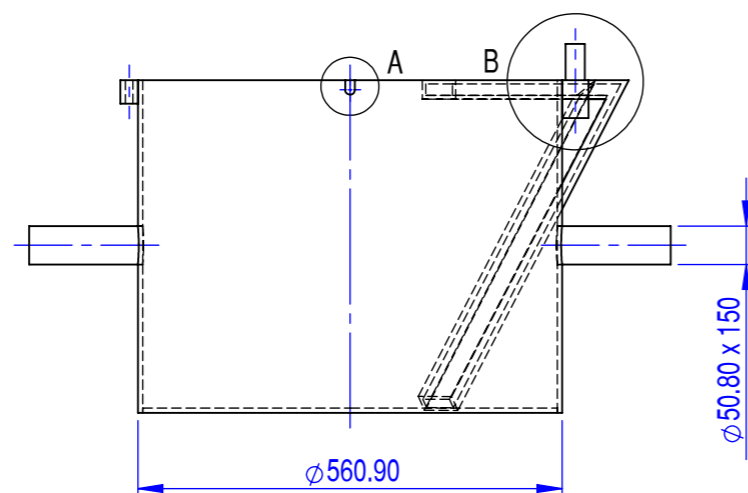
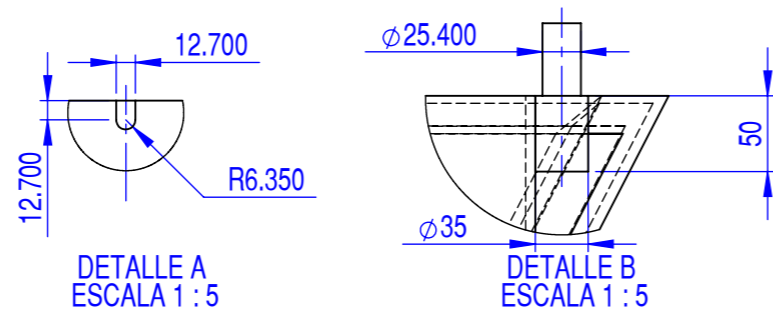


				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO	
				±0,1	250 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: HORNO DE FUNDICION	Escala: 1:1
			Dib.	01/03/14	CHANGO B.		
			Rev.				
				Apro.			
				UTA		Número del dibujo: 01	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Ing. Mecánica		(Sustitución)	

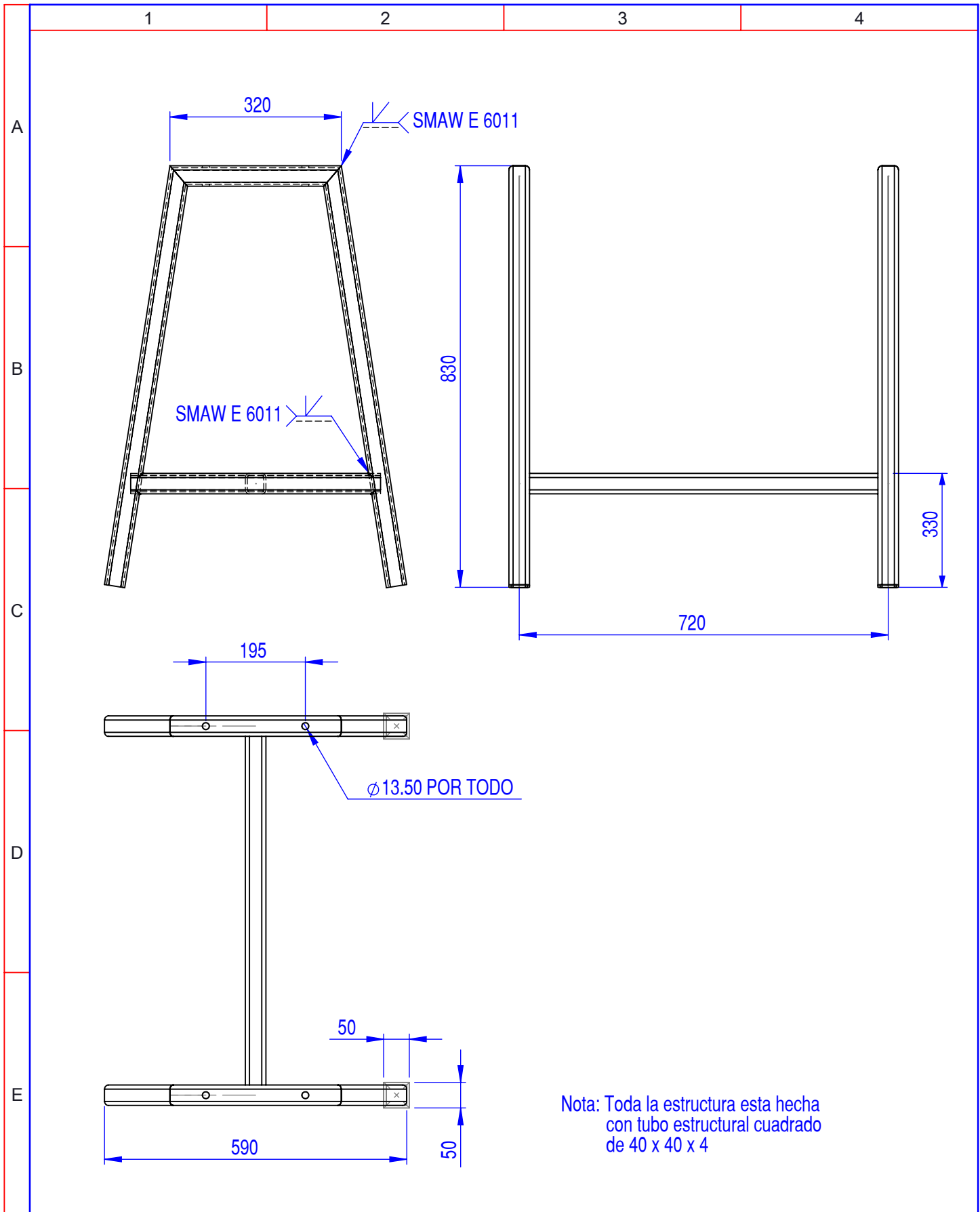


13	Rodamiento		ISO 15 RCR - 5940	2			ADQUIRIDO
12	Motor			1			ADQUIRIDO
11	Refractario interno de la camara de combustión		REFRACTARIO U32	1		20	ADQUIRIDO
10	Refractario interno de la tapa		REFRACTARIO U32	1		15	ADQUIRIDO
9	Refractario de la base de la coraza		REFRACTARIO U32	1		15	ADQUIRIDO
8	Acople del motor		ACERO AISI A36	1		1.5	TORNEADO
7	Alza de chumacera		Hierro	4		0.5	CORTADO
6	Tapa		ACERO AISI 1045	1		15	BAROLADO SOLDADO
5	Chumacera		HIERRO FUNDIDO	2		1	COMPRADO
4	Codo tope de la tapa		TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO	1		1	CORTADO SOLDADO
3	Acople del seguro para tapa y coraza		ACERO	2		1	TORNEADO
2	Coraza		ACERO AISI 1045	1		50	BAROLADO SOLDADO
1	Estructura		TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO	1		10	CORTADO SOLDADO
N.º DE PIEZA	DENOMINACIÓN	N.º DE NORMA/DIBUJO	MATERIA:L	N.º DE ORDEN	N.º DE MODELO	PESO Kg.	OBSERVACIÓN

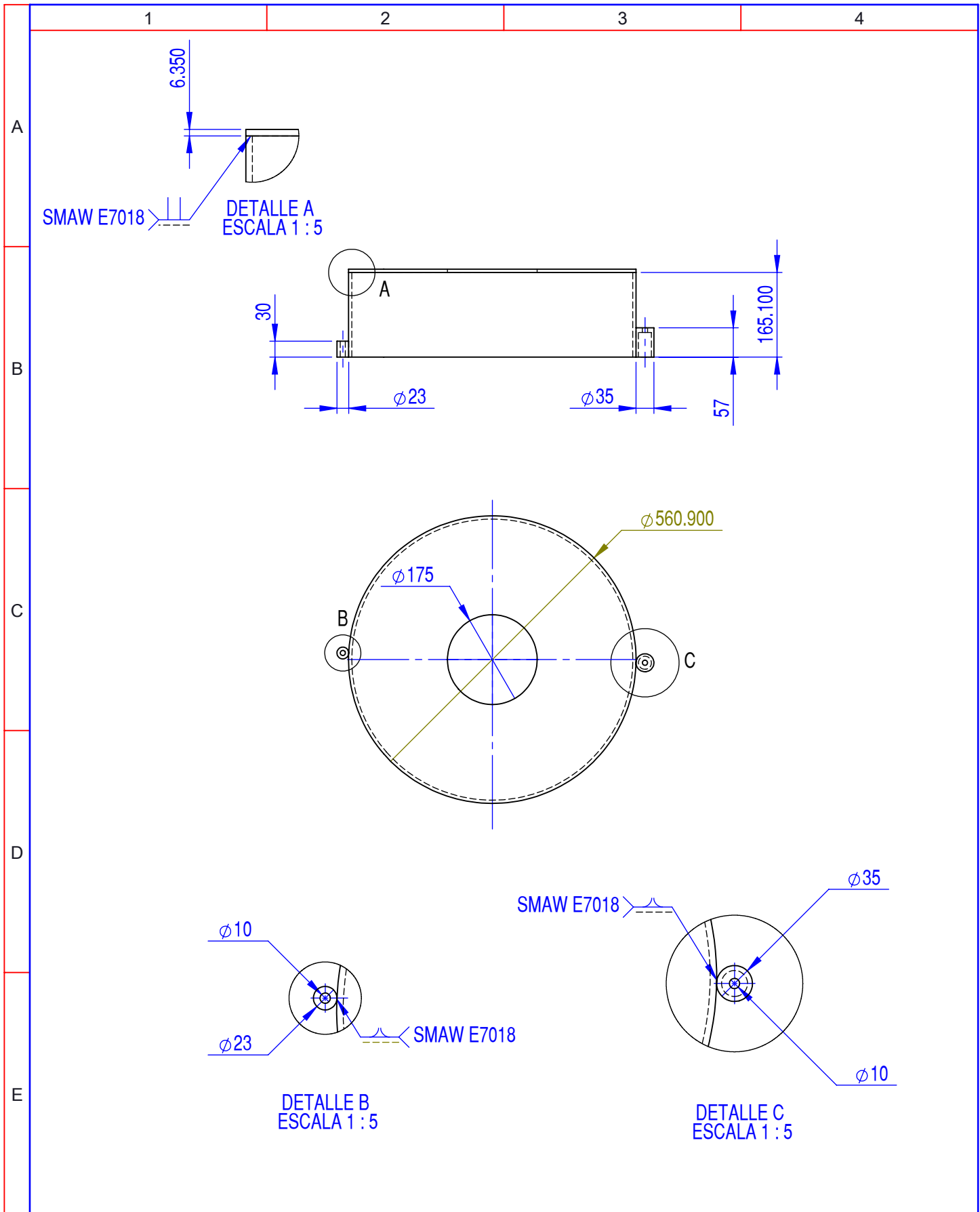
Tolerancia		(Peso)		Materiales:		
±0,1		250 Kg				
Fecha		Nombre		Denominación:		
Dib. 23/06/14		B. CHANGO		HORNO DE FUNDICIÓN		
Rev.				Escala:		
Apro.				1:1		
UTA Ing. Mecánica				Número del dibujo: 02		
				(Sustitución)		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			



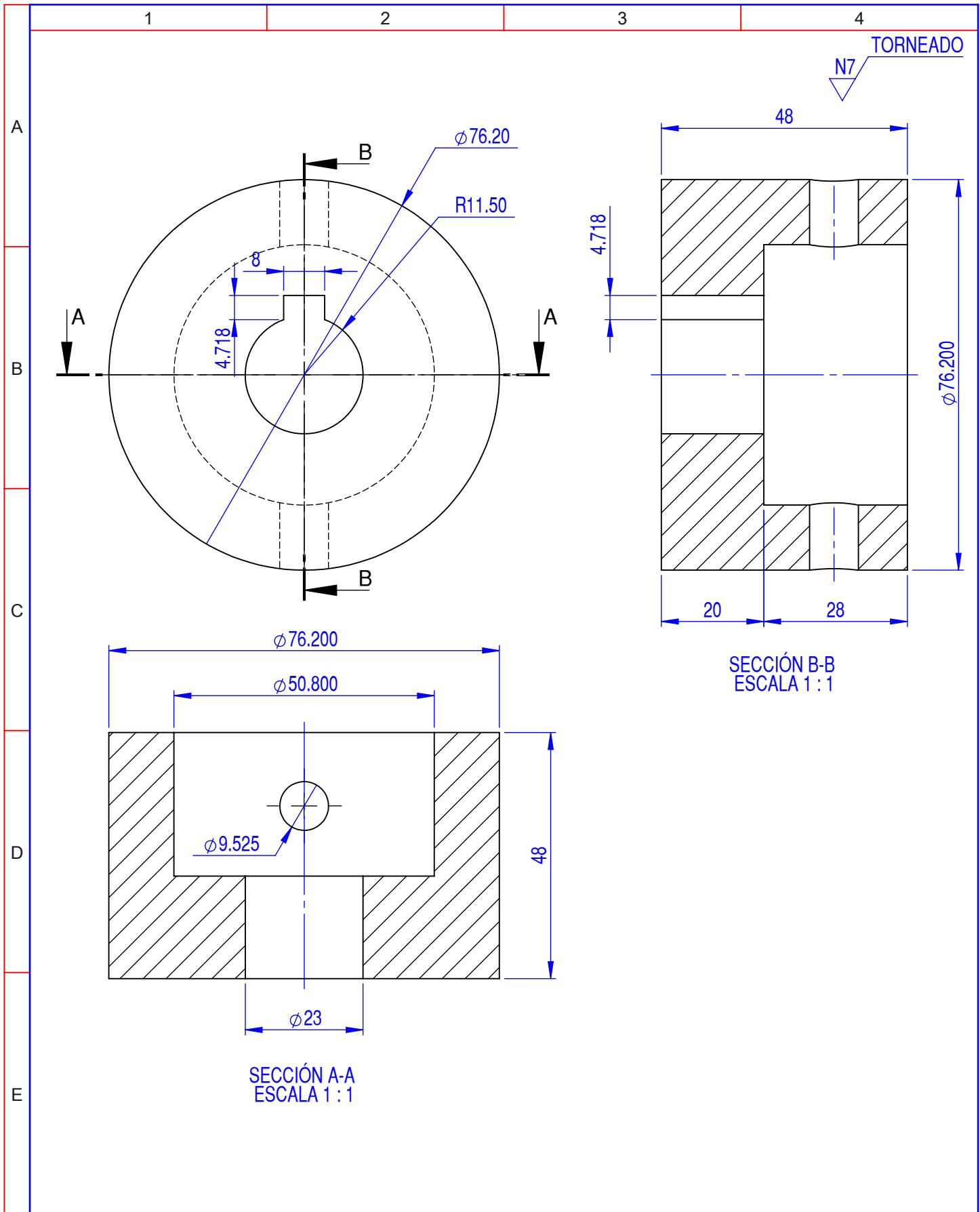
				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO AISI 1045 ESTIRADO EN FRIO	
				±0,1	50 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: CORAZA	Escala: 1:10
			Dib.	01/03/14	CHANGO B		
			Rev.				
			Apro.			Número del dibujo: 03	
						(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ing. Mecánica			



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: TUBO ESTRUCTURAL	
				$\pm 0,1$	10 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dib. 01/03/14	CHANGO B.	ESTRUCTURA BASE	1:10
				Rev.			
				Apro.			
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 04	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO AISI 1045 LADRILLO REFRACTARIO U32	Escala: 1:10
				$\pm 0,1$	15 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: TAPA	
			Dib.	01/03/14	CHANGO B.		
			Rev.				
				Apro.		Número del dibujo: 05	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ing. Mecánica		(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO	
				$\pm 0,1$	0.5 Kg	Denominación:	
				Fecha	Nombre	ACOPLE DE MOTOR	
				Dib. 01/03/14	CHANGO B.	Escala:	
				Rev.		1:1	
				Apro.		Número del dibujo: 06	
				UTA Ing. Mecánica		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

1

2

3

4

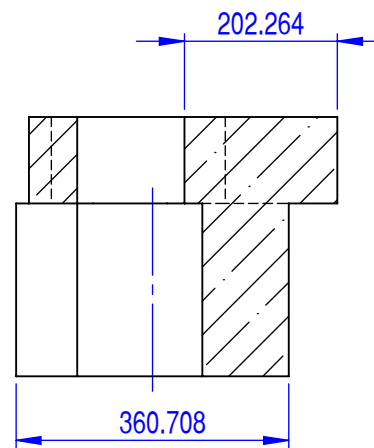
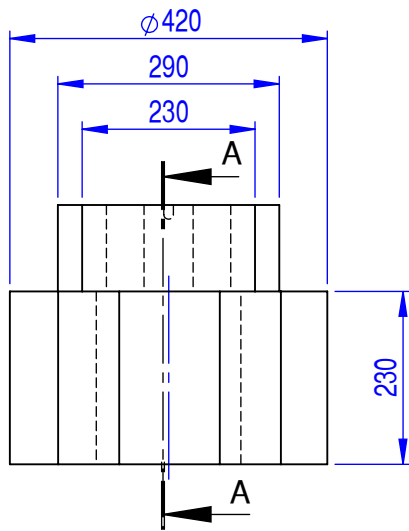
A

B

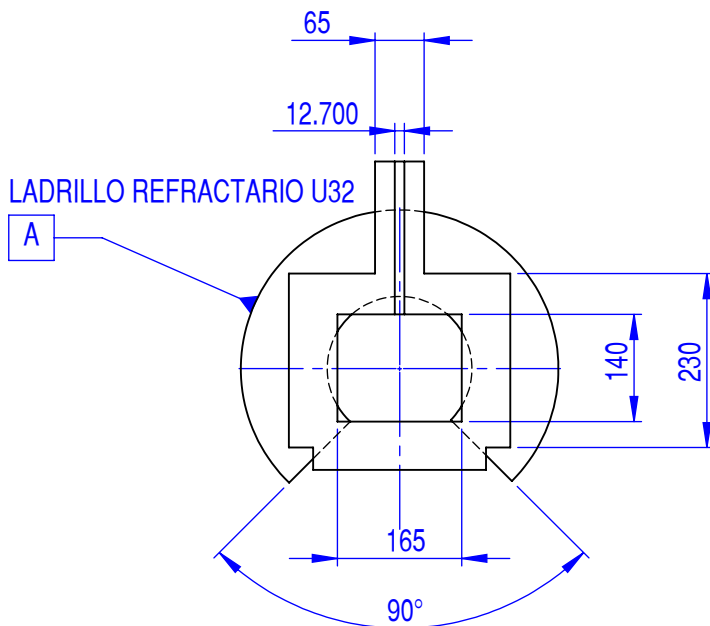
C

D

E



CORTE A-A



LADRILLO REFRACTARIO U32

A

				Tolerancia	(Peso)	Materiales: REFRACTARIO U32	
				±0,1	10 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dib. 01/03/14	CHANGO B.	CÁMARA DE COMBUSTIÓN	1:1
				Rev.			
				Apro.			
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 07	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	