

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



TESIS

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO DE CRISOL BASCULANTE
PARA LA FUSIÓN DE ALUMINIO PARA EL LABORATORIO DE FUNDICIÓN
Y MOLDEO DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
METALÚRGICA**

Presentado por los bachilleres:

ANTAY LAYME, Marcberto

PFURO ROMERO, Bryan

Para optar al Título profesional de Ingeniero Metalúrgico

Asesor:

Ing. Leonardo AVILES HINOJOSA

CUSCO – PERÚ

2022

Presentación

Señor decano de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica, honorables miembros del jurado calificador, de acuerdo al reglamento para optar al Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico adaptado para atención por medio virtual, ponemos a vuestra consideración la tesis intitulada: **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO DE CRISOL BASCULANTE PARA LA FUSIÓN DE ALUMINIO PARA EL LABORATORIO DE FUNDICIÓN Y MOLDEO DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA.**

Este equipo de fusión fue diseñado y construido para la implementación del laboratorio de fundición y moldeo que está considerado dentro del proyecto de construcción de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y sea de uso educativo en el desarrollo de pruebas prácticas de fundición y moldeo.

ANTAY LAYME, Marcberto.

PFURO ROMERO, Bryan.

Dedicatoria

Agradezco principalmente a Dios por darme el placer de estar vivo y tener una vida plena junto a mis seres queridos y amigos cercanos. A mis padres, Alberto y Marcelina por su esfuerzo, dedicación y apoyo incondicional quienes me enseñaron que en la vida las metas y cosas buenas se obtienen esforzándose. A mi esposa Segundina que a pesar de las adversidades está a mi lado apoyándome incondicionalmente. A mis hijos Diego Sebastián y Andrea Valeria para que siempre tengan en cuenta que todo aquello que nos propongamos en la vida lo podemos lograr si trabajamos con perseverancia, constancia y disciplina. A mis hermanos Albcelina, Ruliber, Bercelfina y Yulber, por motivarme y su apoyo incondicional cuando más lo necesité y poner el hombro para culminar mi carrera.

ANTAY LAYME, Marcberto

Dedicatoria

Este trabajo de tesis, va dedicado a mi nona Maximiliana Montesinos Barzola, a mis progenitores Flora Romero Mora y Mario Noe Pfuero Montesinos, a mis consanguíneos Diego y Yasira, familiares, a todos los docentes de la Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica y a todos mis amigos de la universidad y colegio. Gracias por sus buenos consejos, gracias por formar parte de mi crecimiento profesional lograron forjarme, sé que están orgullosos por lo que siempre fui.

PFURO ROMERO, Bryan

Agradecimiento

Agradezco a Dios por su bendición constante y permitir culminar satisfactoriamente mis estudios profesionales y el logro de objetivos anhelados. También quiero agradecer a mi alma mater la Universidad Nacional San Antonio Abad Del Cusco “UNSAAC”, a toda la plana docente de la Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica por su dedicación, trabajo y conocimientos transmitidos. De la misma manera agradecer a mi asesor el Ing. Leonardo Avilés Hinojosa y al Ing. Honorato Sánchez Quispe por haber coadyuvado y alentado que este trabajo se finalice.

ANTAY LAYME, Marcberto

Agradecimiento

Agradezco a mis progenitores por su concepción y mucha dulzura, por brindarme calidad de educación, calidad de vida y por la dicha, ustedes son mi emblema. Así mismo, agradezco al MGT. Ing. Guillermo Barrios Ruiz, a mi asesor de tesis Ing. Leonardo Avilés Hinojosa, al Ing. Juan Carlos Gómez Elorrieta, al Ing. Alfredo Tomas Benito Aragón, al Ing. Baltazar Raúl Vargas Valencia, al Dr. Ing. Abel Franklin Canal Cespedes, al Ing. Honorato Sánchez Quispe y a toda la plana docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica.

Infinitas Gracias.

Resumen

En el presente trabajo de tesis se diseñó y construyó un horno de crisol basculante para la fusión de aluminio con fines de implementar el laboratorio de fundición y moldeo de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y sea de uso educativo en el desarrollo de pruebas prácticas de fundición y moldeo. Como punto de partida, se consideraron aspectos fundamentales como el diseño de máquinas y equipos industriales, principios de funcionamiento de hornos de fundición y metodología del diseño. La configuración interna del horno de crisol basculante, está constituida por ladrillos refractarios de alta alúmina 60 %; aislante térmico de fibra de cerámica y la parte externa por una coraza de acero ASTM A 36. La cámara de combustión del horno de crisol se dimensionó tomando en cuenta las medidas del crisol de carburo de silicio de 50 kg de capacidad. Para el diseño del tornillo sinfín – corona se empleó del software Calculador de tornillo sinfín y corona métricos. El bastidor o soporte metálico se determinó teniendo en cuenta los esfuerzos a los que está sometido, para lo cual se realizó la simulación utilizando el software de diseño Solidworks. Finalmente se logró la puesta en marcha y pruebas de fusión en el taller de fundición y moldeo. En la primera prueba de fusión se cargaron 5 kg de aluminio reciclado y se logró la fusión a los 35 minutos, en la segunda prueba de fusión se cargaron 10 kg de aluminio reciclado y se logró la fusión a los 65 minutos.

Palabras clave: Diseño, construcción, horno de crisol basculante y pruebas de fusión.

Abstract

In this thesis work, a tilting crucible furnace was designed and built for the melting of aluminum in order to implement the foundry and molding laboratory of the Professional School of Metallurgical Engineering and be of educational use in the development of practical tests of foundry. and molding. As a starting point, fundamental aspects such as the design of industrial machines and equipment, operating principles of foundry furnaces and design methodology were considered. The internal configuration of the tilting crucible furnace is made up of 60% high alumina refractory bricks; ceramic fiber thermal insulation and the external part by an ASTM A 36 steel shell. The crucible furnace combustion chamber was dimensioned taking into account the measurements of the 50 kg capacity silicon carbide crucible. For the design of the worm screw - crown, the metric worm screw and crown calculator software was used. The metal frame or support was determined taking into account the efforts to which it is subjected, for which the simulation was carried out using the Solidworks design software. Finally, the start-up and fusion tests were achieved in the foundry and molding workshop. In the first fusion test, 5 kg of recycled aluminum were loaded and fusion was achieved at 35 minutes; in the second fusion test, 10 kg of recycled aluminum were loaded and fusion was achieved at 65 minutes.

Keywords: Design, construction, tilting crucible furnace and melting tests.

Tabla de Contenido

Presentación.....	ii
Dedicatorias.....	iii
Agradecimientos.....	v
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
Tabla de contenido.....	ix
Índice de figuras.....	xvi
Índice de tablas.....	xix
Índice de planos.....	xxii
Simbologías.....	xxiii
Introducción.....	1

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Problema general.....	2
1.3 Problemas específicos.....	2
1.4 Alcance y limitaciones del proyecto.....	3
1.4.1 Alcances.....	3
1.4.2 Limitaciones.....	3
1.5 Delimitaciones del diseño y construcción.....	3
1.5.1 Contenido.....	3
1.5.2 Espacial.....	3
1.5.3 Temporal.....	3

	x
1.6 Justificaciones.....	4
1.6.1 Tecnológica.....	4
1.6.2 Social.....	4
1.6.3 Económica.....	4
1.6.4 Ambiental.....	4
1.7 Objetivos.....	5
1.7.1 General.....	5
1.4.1 Específicos.....	5

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes internacionales.....	6
2.2 Antecedentes nacionales.....	7
2.3 Metales no ferrosos.....	7
2.3.1 Aluminio.....	9
2.3.2 Fusión del aluminio.....	10
2.3.3 Reciclado del aluminio.....	10
2.4 Factores que determinan un horno de fusión.....	10
2.5 Hornos de crisol metalúrgicos para fusión de metales.....	11
2.5.1 Horno lift out.....	11
2.5.2 Horno bale out.....	12
2.5.3 Horno basculante.....	13
2.5.4 Horno de inducción.....	13
2.6 Materiales que conforman un horno de crisol.....	14
2.6.1 Materiales refractarios.....	14

2.6.1.1	Clasificación de materiales refractarios.....	15
2.6.1.2	Ladrillos refractarios.....	15
2.6.1.3	Hormigones refractarios.....	17
2.6.1.4	Crisol refractario.....	18
2.6.1.4.1	Crisol de grafito.....	19
2.6.1.4.1	Crisol de carburo de silicio.....	19
2.6.1.5	Aislantes térmicos.....	19
2.7	Carcasas metálicas para hornos de fundición.....	21
2.7.1	Aceros estructurales.....	24
2.7.1.1	Acero ASTM A36.....	25
2.7.1.2	Acero ASTM A500.....	26
2.8	Soldabilidad en aceros de bajo carbono.....	26
2.8.1	Procedimientos para soldar aceros de bajo carbono.....	27
2.9	Generalidades de la combustión.....	30
2.10	Exceso de aire en la combustión.....	32
2.11	Tipos de quemadores.....	33
2.12	Sistema termodinámico.....	34
2.12.1	Procesos termodinámicos.....	35
2.12.2	Entalpía.....	35
2.13	Regímenes de transferencia de calor.....	35
2.14	Mecanismos de transferencia de calor.....	36
2.14.1	Flujo de calor por conducción.....	37
2.14.1.1	Capacidad calorífica y conductividad térmica.....	37

2.14.1.2 Flujo de calor en paredes cilíndricas.....	38
2.14.2 Flujo de calor por convección.....	39
2.14.2.1 Convección externa forzada.....	40
2.14.2.2 Convección interna forzada.....	42
2.14.2.3 Convección natural.....	42
2.14.3 Flujo de calor por radiación.....	44
2.14.3.1 Emisividad.....	46
2.15 Razones para el empleo de aislantes térmicos.....	46

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

3.1 Diseño	47
3.2 Fases e interacciones del proceso del diseño.....	47
3.3 Diseño industrial.....	48
3.3.1 Etapas de diseño industrial.....	48
3.4 Diseño del horno de crisol.....	50
3.4.1 Consideraciones de diseño.....	50

CAPÍTULO IV. DISEÑO DEL HORNO DE CRISOL BASCULANTE

4.1 Diseño conceptual.....	51
4.1.1 Título de la propuesta tecnológica.....	51
4.1.1.1 Alcances de la propuesta tecnológica.....	51
4.1.2 Propuesta de alternativas de solución.....	51
4.1.2.1 Selección de alternativa de solución.....	52
4.1.3 Características del horno de crisol basculante.....	52
4.1.4 Proceso productivo para el horno de crisol basculante.....	53

4.1.4.1	Diseño para el estado inicial del proceso productivo.....	53
4.1.4.2	Diseño para el proceso de transformación del proceso productivo.....	57
4.1.4.3	Factibilidad resultante para el estado inicial y proceso de transformación.....	59
4.2	Diseño de detalle.....	61
4.2.1	Diseño térmico.....	61
4.2.1.1	Cámara de combustión.....	61
4.2.1.2	Volumen de la cámara de combustión.....	62
4.2.1.3	Configuración interna del hornou olla.....	63
4.2.1.4	Balance de energía.....	66
4.2.1.4.1	Calor requerido.....	67
4.2.1.4.2	Calor perdido.....	68
4.2.1.4.2.1	Calor absorbido por el crisol.....	68
4.2.1.4.2.2	Calor perdido a través de las múltiples capas.....	71
4.2.1.5	Eficiencia térmica.....	75
4.2.1.6	Gasto de combustible.....	76
4.2.1.7	Volumen de combustible requerido.....	76
4.2.1.8	Selección del quemador.....	77
4.2.2	Diseño mecánico.....	77
4.2.2.1	Masa total del horno.....	77
4.2.2.2	Diagrama de cuerpo libre de fuerzas en el bastidor.....	79
4.2.2.3	Diseño de tornillo sinfin y eje.....	81
4.2.2.3.1	Diseño de eje.....	85
4.2.3	Soldadura de partes metálicas del horno de crisol basculante.....	92

4.2.3.1 Soldadura de las carcasas metálicas.....	92
4.2.3.2 Soldadura de la endoestructura metálica.....	93
3.2.3.3 Soldadura del bastidor.....	93
3.2.3.4 Soldadura de ejes.....	93
3.2.3.5 Soldadura de angulares metálicos.....	95
3.2.4 Selección de chumaceras.....	96
3.2.5 Selección de pernos.....	97
3.2.6 Simulación del soporte metálico o bastidor.....	97

CAPÍTULO V. CONSTRUCCIÓN DEL HORNO DE CRISOL BASCULANTE

5.1 Construcción del producto inicial.....	100
5.1.1 Construcción del hornou olla.....	100
5.2 Producto final.....	109
5.3 Puesta en marcha.....	110
5.4 Pruebas de fusión.....	113
5.5 Interpretación de resultados.....	117
5.5.1 Balance de materia de primera prueba de fusión.....	117
5.5.1.1 Gráfico de columnas agrupadas de primera prueba de fusión.....	117
5.5.2 Balance de materia de segunda prueba de fusión.....	118
5.5.2.1 Gráfico de columnas agrupadas de segunda prueba de fusión.....	118

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones.....	120
Recomendaciones.....	120

Referencias bibliográficas.....	122
Anexos.....	127
Apéndice A.....	138
Apéndice B.....	139
Apéndice C.....	140
Apéndice D.....	145
Apéndice E.....	146

Índice de Figuras

Figura 1 Horno lift out.....	12
Figura 2 Horno bale out.....	12
Figura 3 Horno basculante.....	13
Figura 4 Horno de inducción.....	14
Figura 5 Quemadores trifásicos.....	34
Figura 6 Conductividades térmicas de diferentes materiales.....	38
Figura 7 Red de resistencias térmicas en múltiples capas cilíndricas.....	39
Figura 8 Convección forzada y convección natural.....	40
Figura 9 Correlaciones empíricas para el número de Nusselt.....	41
Figura 10 Correlaciones para el número de Nusselt.....	44
Figura 11 Analogía de la resistencia superficial a la radiación.....	45
Figura 12 Razón de transferencia de calor para cuerpos cilíndricos.....	46
Figura 13 Rangos de emisividad.....	45
Figura 14 Fases del proceso de diseño que reconocen múltiples retroalimentaciones e iteración.....	48
Figura 15 Proceso productivo para el horno de crisol basculante.....	53
Figura 16 Dimensiones del crisol.....	61
Figura 17 Vista frontal del horno de crisol.....	62
Figura 18 Espesores de ladrillos refractarios con y sin aislación térmica.....	65
Figura 19 Espesores de las múltiples capas del horno.....	66
Figura 20 Balance de energía en el horno.....	67
Figura 21 Flujo de calor a través del crisol refractario.....	69

Figura 22 Mecanismos de transferencia de calor a través de las múltiples capas.....	71
Figura 23 Red de resistencias térmicas en la transferencia de calor.....	72
Figura 24 Fuerzas de superficie que ejerce el horno.....	79
Figura 25 Diagrama de cuerpo libre de fuerzas en el bastidor.....	80
Figura 26 Tornillo sinfín.....	81
Figura 27 Fuerzas en el tornillo sinfín – corona.....	83
Figura 28 Cargas en los ejes.....	86
Figura 29 Diagrama de cuerpo libre respecto al plano XZ.....	86
Figura 30 Diagrama de fuerza cortante respecto al plano XY.....	87
Figura 31 Diagrama de fuerza cortante respecto al plano XZ.....	88
Figura 32 Diagrama de momento flector respecto al plano XY.....	88
Figura 33 Diagrama de momento flector respecto al plano XZ.....	89
Figura 34 Gráfica de tensiones.....	97
Figura 35 Gráfica de desplazamiento.....	98
Figura 36 Gráfica de deformación.....	99
Figura 37 Gráfica de factor de seguridad.....	99
Figura 38 Herramientas, equipos y materiales para la construcción del horno u olla.....	100
Figura 39 Dimensiones del horno u olla.....	101
Figura 40 Piezas metálicas que conformaron el horno u olla.....	102
Figura 41 Soldadura a tope en la endoestructura metálica.....	102
Figura 42 Soldadura a tope de la carcasa metálica.....	103
Figura 43 Soldadura tipo filete de la tapa metálica.....	103
Figura 44 Unión soldada tipo filete en los ejes.....	104

Figura 45 Formas y medidas de los ladrillos refractarios.....	105
Figura 46 Concretos refractarios.....	105
Figura 47 Construcción de la cámara de combustión.....	106
Figura 48 Acanalado.....	106
Figura 49 Tapa del horno.....	107
Figura 50 Herramientas y equipos para el ensamblaje del bastidor.....	107
Figura 51 Ensamblaje del bastidor.....	108
Figura 52 Herramientas y equipos para el ensamblaje del tornillo sinfín.....	108
Figura 53 Ensamblaje del sistema de transmisión de movimiento.....	109
Figura 54 Horno de crisol basculante.....	109
Figura 55 Izado y traslado del horno de crisol basculante.....	111
Figura 56 Thermostat del quemador.....	112
Figura 57 Colada del aluminio.....	116
Figura 58 Tocho de aluminio fundido.....	116
Figura 59 Gráfico de columnas agrupadas de la primera prueba de fusión.....	117
Figura 60 Gráfico de columnas agrupadas de la segunda prueba de fusión.....	119

Índice de Tablas

Tabla 1 Propiedades de metales no ferrosos.....	8
Tabla 2 Características de los metales y aleaciones no ferrosas.....	9
Tabla 3 Relación entre el tipo de enlace y propiedades representativas de diferentes materiales....	14
Tabla 4 Propiedades de los ladrillos refractarios.....	15
Tabla 5 Clasificación de ladrillos silicoaluminosos.....	16
Tabla 6 Composición de ladrillos refractarios según su contenido de alúmina.....	17
Tabla 7 Composición química de los hormigones refractarios.....	18
Tabla 8 Propiedades de un crisol refractario.....	19
Tabla 9 Espesores recomendados de aislamiento.....	20
Tabla 10 Composición química del acero inoxidable AISI 310.....	21
Tabla 11 Propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 310.....	22
Tabla 12 Composición química del acero inoxidable AISI 314.....	22
Tabla 13 Propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 314.....	22
Tabla 14 Aceros al carbono termoresistentes.....	23
Tabla 15 Composición química del acero ASTM A106.....	23
Tabla 16 Propiedades mecánicas del acero ASTM A106.....	24
Tabla 17 Clasificación de los aceros según norma ASTM.....	25
Tabla 18 Composición química del acero ASTM A36.....	26
Tabla 19 Composición química del acero ASTM A500.....	26
Tabla 20 Electrodo para corriente continua.....	27
Tabla 21 Diámetro del electrodo.....	28
Tabla 22 Escala de amperajes para diferentes diámetros de electrodos.....	29

Tabla 23 Composición química de aceros de bajo contenido de carbono.....	30
Tabla 24 Poder calorífico de combustibles industriales.....	31
Tabla 25 Propiedades del gas propano y butano.....	32
Tabla 26 Composición simplificada del aire en porcentajes.....	32
Tabla 27 Porcentajes de aire en exceso.....	33
Tabla 28 Herramientas de diseño asistido por ordenadores	49
Tabla 29 Alternativas de solución.....	51
Tabla 30 Características de horno de crisol basculante	52
Tabla 31 Factibilidad para los ladrillos refractarios.....	54
Tabla 32 Factibilidades para hormigones refractarios	54
Tabla 33 Factibilidades para el aislante térmico	55
Tabla 34 Factibilidades para los materiales metálico.....	56
Tabla 35 Factibilidades de tecnologías de soldadura.....	57
Tabla 36 Factibilidades de tecnologías de corte.....	58
Tabla 37 Factibilidad resultante para el estado inicial.....	59
Tabla 38 Factibilidad resultante para el proceso de transformación.....	60
Tabla 39 Masa total del horno.....	78
Tabla 40 Dimensiones del tornillo sinfin – corona.....	85
Tabla 41 Catalogo de chumaceras NTN	96
Tabla 42 Clases de tornillos para sujeciones	97
Tabla 43 Plan de acción para puesta en marcha.....	110
Tabla 44 Tabla de orificios específicos en la presión del quemador.....	112
Tabla 45 Plan de acción para las pruebas de fusión.....	113

Tabla 46 Datos de la primera prueba de fusión.....	114
Tabla 47 Datos de la segunda prueba de fusión.....	115
Tabla 48 Balance de materia de la primera prueba de fusión.....	117
Tabla 49 Balance materia de la segunda prueba de fusión.....	118

Índice de Planos

Plano A: Horno u olla	147
Plano B: Carcasas metálicas	148
Plano C: Endoestructura metálica.....	149
Plano D: Soporte metálico.....	150
Plano E: Tornillo sinfín - corona	151
Plano F: Estructura metálica para el quemador.....	152

Simbologías

C_p :	Calor específico
G.t.:	Garganta teórica
g:	Aceleración gravitacional
GLP:	Gas licuado de petróleo.
Gr:	Número de Grashof
h:	Altura de la garganta de la soldadura
h:	Coefficiente de transferencia de calor por convección
K:	Conductividad térmica
kJ:	Kilo Joule
W:	Watts
N:	Newton
Nu:	Número de Nusselt
Pr:	Número de Prandtl
Psi:	Libras por pulgada cuadrada
Q:	Calor
Re:	Número de Reynolds
ΔT :	Variación de temperatura
W:	Carga originada por el horno u olla
ε :	Emisividad
AISC:	American Institute of Steel Construction (Instituto Americano de Construcción en Acero).
AISI:	American Iron and Steel Institute (Instituto Americano del hierro y el Acero).

AGMA: American Gears Manufacturers Association (Asociación Americana de Fabricantes de Engranajes).

ASTM: American Society of Testing Material (Sociedad Americana para pruebas de Materiales).

AWS: American Welding Society (Sociedad Americana de Soldadura).

ELS: Estado limitado de servicio.

ELU: Estado limitado último.

GMAW: Gas-Shielded Metal Arc Welding (Soldadura por arco con electrodo consumible y protección gaseosa.)

GTAW: Gas-Shielded Tungsten Arc Welding (Soldadura por arco con electrodo de tungsteno y protección gaseosa.)

SAE: Society Automotive Engineers (Sociedad de Ingenieros de Automoción).

SMAW: Shielded Metal Arc Welding (Soldadura por arco con electrodo metálico revestido).

TIMA: Thermal Insulation Manufactures Association (Asociación de Fabricantes de Aislamiento Térmico).

Introducción

El diseño y fabricación de un horno de crisol basculante para la fundición de aluminio, contribuye con la implementación del taller de fundición y moldeo de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y tiene una función didáctica en el desarrollo de pruebas prácticas de fundición y moldeo, ya que actualmente dicho taller cuenta con un horno de fosa que presenta deterioro en las piezas que lo componen y debido a ello deficiencias en su funcionamiento.

Se desarrollaron los siguientes capítulos:

En el capítulo I se presentan las generalidades, dentro de ello se especifica el problema de investigación, las delimitaciones del diseño y construcción, la justificación y los objetivos. En el capítulo II se desarrolla el marco teórico, donde se realizó una investigación bibliográfica exhaustiva sobre los antecedentes y temas relacionados al presente trabajo, como son hornos de crisol metalúrgicos, materiales que la componen, soldabilidad en aceros, combustión, mecanismos de transferencia de calor. En el capítulo III se presenta la metodología del diseño, así como sus fases, etapas y consideraciones de diseño. En el capítulo IV se desarrolla diseño del horno de crisol basculante, atendiendo a las etapas involucradas como son: diseño conceptual, diseño de detalle y producción, así mismo se realizan sus respectivos cálculos de ingeniería para dimensionar sus elementos. En el capítulo V se describe la construcción del horno de crisol, también las pruebas de fusión y se interpretan los resultados obtenidos. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1 Planteamiento del problema

La escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco se dedica a la formación integral de profesionales creativos, innovadores y emprendedores generando desarrollo sostenible a nivel regional y nacional. Para tal efecto cuenta con un taller de fundición y moldeo, donde se desarrollan actividades educativas teórico-prácticas, dicho taller cuenta con un horno de fosa que presenta deterioro en las piezas que la componen y debido a ello presenta deficiencias en su funcionamiento, tiene una capacidad de 100 kg por lo que representa riesgos ergonómicos al extraer el crisol del horno, así mismo este horno emplea combustible diésel que genera emisiones de humos perjudiciales tanto para el operario como para el medio ambiente.

Ante esta problemática urge la necesidad imperiosa de diseñar y construir un horno de crisol basculante para la fusión de aluminio que contribuya a formar el perfil profesional de dicha escuela profesional.

1.2 Problema general

¿Es posible el diseño y construcción de un horno de crisol basculante para la fusión de aluminio que incida en las actividades académicas en el laboratorio de fundición y moldeo de la escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica?

1.3 Problemas específicos

- ¿Los cálculos de ingeniería permitirán dimensionar satisfactoriamente los diferentes elementos del horno de crisol?
- ¿Será posible determinar la eficiencia térmica del horno de crisol que le permita un adecuado desempeño?
- ¿Es posible evaluar el funcionamiento del horno de crisol mediante las pruebas de

fusión?

1.4 Alcances y limitaciones del proyecto

1.4.1 Alcances

Construir un horno de crisol basculante para la fusión de aluminio y ponerla en marcha en el laboratorio de fundición y moldeo de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica.

1.4.2 Limitaciones

No hubo limitación alguna.

1.5 Delimitaciones del diseño y construcción

1.5.1 Contenido

Este proyecto de tesis se desarrolló en base a fundamentos científicos en áreas como:

- Transferencia de calor.
- Termodinámica.
- Balance de energía y materia.
- Diseño de elementos de máquinas.
- Ciencia de los materiales.
- Mecánica de materiales.
- Soldadura
- Fundición.

1.5.2 Espacial

El trabajo de tesis se encuentra delimitado en el interior del laboratorio de fundición y moldeo de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica – UNSAAC, Cusco – Perú.

1.5.3 Temporal

El trabajo de tesis, inició la primera semana de febrero de 2021 con la propuesta del

proyecto de tesis y su inscripción del tema de tesis en referencia y se finalizó la primera semana de enero de 2022 con las respectivas pruebas de fusión e interpretación de resultados.

1.6 Justificaciones

1.6.1 Tecnológica

Se contribuye con el diseño y construcción del horno de crisol que permitirá poner en práctica los conocimientos teóricos adquiridos en el aula por los estudiantes, asimismo dicho horno tiene un sistema de basculación que permite comodidad al usuario en las operaciones de colada, la configuración del horno permite optimizar el tiempo de fundición y reducir riesgos para la seguridad y salud.

1.6.2 Social

Con el diseño y fabricación de este equipo de fusión se coadyuva a adquirir los conocimientos teórico-práctico en el área de fundición y moldeo, por parte de los estudiantes de la escuela profesional para alcanzar de esta manera su formación profesional integral en beneficio de la sociedad.

1.6.3 Económica

La tecnología propuesta emplea GLP que tiene mayor poder calorífico que el petróleo que se emplea en el horno de fosa, por lo tanto, se optimiza el tiempo de fusión reduciendo los costos del proceso.

1.6.4 Ambiental

Debido al empleo del GLP como combustible, se reduce significativamente las emisiones de humos en comparación a la combustión del diésel con el que operaba el horno de fosa, esto resulta favorable para el medio ambiente y los estudiantes que desarrollan las actividades de fundición y moldeo.

1.7 Objetivos

1.7.1 General

Diseñar y construir un horno de crisol basculante para la fusión de aluminio para el laboratorio de fundición y moldeo de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica que incida en las actividades educativas de los estudiantes.

1.7.2 Específicos

- Realizar cálculos de ingeniería que permita dimensionar los diferentes elementos del horno de crisol basculante.
- Determinar la eficiencia térmica del horno de crisol.
- Evaluar el funcionamiento del horno de crisol.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes internacionales

- a) Diseño de un horno de fundición para la empresa SERTEC. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Tecnología. Presentado por Aliaga Suñagua Luis Adolfo. La Paz – Bolivia, 2018.

Resumen: En esta investigación se realizó el diseño de un horno de fundición para cobre que posee una capacidad de 50 kg. El horno es de tipo basculante que se adecuó el volumen y la capacidad de producción requerida por la empresa SERTECE, en las pruebas de funcionamiento el horno demora 35 minutos hasta alcanzar los 900 °C y el proceso de fusión tarda 45 minutos. Se concluyó que es viable el diseño del horno de fundición para fundir cobre reciclado es decir presta las condiciones establecidas en los cálculos.

- b) Diseño y construcción de un horno de crisol para aleaciones no ferrosas. Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Presentado por Flores García Evelin Yesenia y Orellana Núñez Roberto Enrique. El Salvador – América Central, 2014.

Resumen: En esta investigación se logró diseñar y construir un horno de crisol para la fusión de aleaciones no ferrosas. El diseño de este horno de crisol tiene una altura de 500 mm y 500 mm de diámetro, la potencia necesaria para la fusión del aluminio es de 12.50 kW también se calculó el consumo del gas propano y viene a ser de 1.49 lb/h. Es un horno amigable con el medio ambiente es decir opera con un quemador atmosférico. Y finalmente se realizó el curado del material refractario del horno y se realizaron pruebas de funcionamiento y se logró corroborar la efectividad del diseño.

- c) Diseño, cálculo y construcción de un horno de fundición de aluminio tipo basculante y sus moldes. Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y Arquitectura. Presentado por Pérez Pino Frey Jonathan y Soto Payares Armando Enrique. Norte de Santander – Colombia, 2009.

Resumen: El objetivo de esta investigación fue aportar a la universidad de Pamplona las herramientas necesarias para seguir con la política de educación con calidad e impacto ambiental, mediante el equipado de un horno de fusión y poder realizar prácticas de laboratorio.

2.2 Antecedentes nacionales

a) Diseño y fabricación de un módulo de casting para joyería. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica. Presentado por Huilca Achahui Roger Bernin y Huilca Achahui Rómulo Gaspar. Cusco – Perú, 2022.

Resumen: Se diseñó y fabricó un módulo de casting para joyería, que permite trabajar de manera eficiente a las condiciones ambientales de la ciudad del cusco. Este módulo fabricado resulta ser económico en comparación a los equipos casting procedentes de Lima o del exterior.

b) Diseño de un horno de crisol para la fundición de 600 kg de aluminio reciclado utilizando gas natural. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ingeniería Mecánica. Presentado por Pillaca Burga Ricardo. Lima – Perú, 2021.

Resumen: Se logró diseñar y construir un horno de fundición para metales blandos, se realizó el diseño con el software Inventor, así mismo se empleó gas licuado de petróleo para las fusiones ya que ofrece bajas emisiones de contaminantes.

2.3 Metales no ferrosos

Los metales no ferrosos son los que no contienen hierro, por lo que los metales de aleación, que están libres de hierro, también se consideran no ferrosos. En general, son metales con propiedades de poca resistencia mecánica o son blandas. Se pueden clasificar según su peso específico:

- Pesados (más de 5.000 kg/m³) Cobre, Chumbo, Cinc, Estaño, Cromo, Níquel, Mercurio, Wolframio, Tantalio.

- Ligeros (entre 2.000-5.000 kg/m³) Aluminio, Titanio, Litio.
- Ultraligeros (menos de 2.000 kg/m³) Magnesio.

Tabla 1*Propiedades de metales no ferrosos*

Metal	Resistencia a la tensión (MPa)	Temperatura de fusión (°C)	Conductividad térmica (W/m°C)
Estaño	19-25	240	64
Plomo	18-23	340	34
Zinc	19-20	420	140
Magnesio	83-345	651	156
Aluminio	83-310	660	205
Bronce	130-200	880	75
Latón	120-180	930	109
Plata	110-220	960	406
Oro	180-220	1063	314
Cobre	345-689	1084	385
Níquel	414-1103	1455	53
Titanio	552-1034	1668	30
Molibdeno	324	2623	142
Tungsteno	980	3396	125
Wolframio	1000	3410	130

Nota. Tomado de Guía de materiales y procesos de manufactura (p. 2), por Kalpajian, 2014, <https://repository.unad.edu.co/>

En la tabla 2, se muestran las características fundamentales de los metales no ferrosos más relevantes aplicados en las diferentes industrias.

Tabla 2*Características de los metales y aleaciones no ferrosas*

Material	Características
Aleaciones no ferrosas	Más caras que los aceros y plásticos; amplio rango de propiedades mecánicas, físicas y eléctricas; buena resistencia a la corrosión; aplicaciones a alta temperatura.
Aluminio	Alta proporción de resistencia a peso; alta conductividad térmica y eléctrica; buena resistencia a la corrosión; buenas propiedades a la manufactura.
Magnesio	El metal más ligero; buena proporción de resistencia a peso.
Cobre	Alta conductividad térmica y eléctrica; buena resistencia a la corrosión; buenas propiedades de manufactura.
Superalaciones	Buena resistencia y resistencia a la corrosión a temperaturas elevadas; pueden ser de base hierro, cobalto y níquel.
Titanio	La más alta proporción de resistencia a peso de todos los metales; buena resistencia y resistencia a la corrosión a altas temperaturas.
Metales refractarios	Molibdeno, tungsteno y tantalio; resistencia a altas temperaturas.
Metales preciosos	Oro, plata y platino; en general buena resistencia a la corrosión.

Nota. Tomado de Guía de materiales y procesos de manufactura (p. 5), por Kalpajian, 2014, <https://repository.unad.edu.co/>

2.3.1 Aluminio

El aluminio es un elemento químico, de símbolo Al, es un metal no ferromagnético blanco plateado, el elemento 13 en la tabla periódica.

El aluminio es el metal más abundante y ocupa el tercer lugar en abundancia como elemento de la corteza terrestre (7.5 % en masa). No se encuentra en forma elemental en la naturaleza; su principal mena es la bauxita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Otros minerales que contienen aluminio son la ortoclasa, el berilo, la criolita y el corindón. (Chang, 2013, p. 950).

2.3.2 Fusión del aluminio

La fusión es un proceso físico que consiste en el cambio de estado de la materia del estado sólido al estado líquido por la acción del calor. Cuando se calienta un sólido, aumenta la vibración de los átomos a medida que gana energía y los átomos vibran con mayor rapidez, hasta alcanzar el estado líquido.

Para fundir el aluminio se recomienda que el metal no tenga contacto con los gases de combustión, asimismo es necesario que el proceso sea de manera breve, debido que el material es sensible a la absorción de oxígeno e hidrógeno del medio ambiente causando que la fundición exhiba deficiencias (Duponchelle, 1952, p. 242).

2.3.3 Reciclado del aluminio

El aluminio es un material metálico cuyas propiedades y características no se ven afectadas cuando ha sido transformado en un determinado producto. Por consiguiente, puede ser reciclado y reutilizado todas las veces que sean necesarias sin perder su calidad. Conserva el gran valor de este metal y ofrece un incentivo económico suficiente para que pueda ser recogido, tratado, fundido y reutilizado de una forma similar o comparable al final de la vida útil del producto. El consumo de energía eléctrica para producir 1kg de aluminio reciclado es sólo un 5% del consumo energético necesario para producir 1 kg de aluminio primario, razón por la cual la mayoría de las industrias encuentran el reciclado de aluminio como una actividad beneficiosa.

2.4 Factores que determinan un horno de fusión

Los siguientes factores determina al tipo de horno de fusión a emplear, siendo:

- Orden térmico: Fusión en el menor tiempo posible captado por la carga metálica y temperatura máxima de trabajo debido a la propiedad de refractariedad de los materiales refractarios y aislantes térmicos.

- Orden fisicoquímico: Mínima oxidación del metal debido a las condiciones de combustión en el interior de horno de fusión.
- Orden operacional: Facilidad de carga metálica, comodidad de ejecución y facilidad de reparación.
- Orden económico: Gastos mínimos de operación, gastos mínimos de conservación y mantenimiento Tipo de energía a emplear y disponibilidad.
- Orden de impacto ambiental: Impacto mínimo por la combustión de combustibles y de los gases que se generan.

2.5 Hornos de crisol metalúrgicos para fusión de metales

Los hornos de crisol metalúrgicos, se caracterizan por presentar una cámara de combustión u hogar en él, se encuentra un crisol refractario que contiene cierta cantidad de carga metálica y que por acción de los mecanismos de transferencia de calor es que se logra el cambio de estado de la carga metálica. Dentro de la clasificación de hornos de crisol metalúrgicos discontinuos de flama indirecta se consideran 4, siendo las siguientes.

2.5.1 Horno lift out

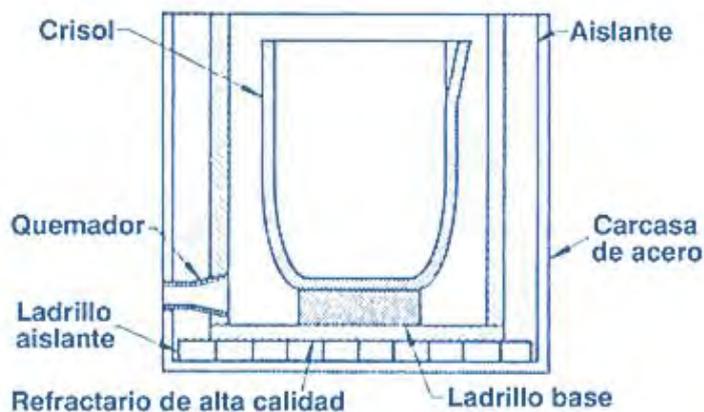
Los hornos lift out, de pozo o de fosa, son hornos de crisol mayormente empleados para la fusión de metales no ferrosos como aluminio y cobre, debido a su fácil y bajo costo de instalación, su capacidad para la carga metálica, varían desde los 15 kg hasta los 450 kg. Están conformados por ladrillos refractarios estándar o silicoaluminosos y para los intersticios entre ladrillos, están sellados con arcilla refractaria o algún tipo de concreto refractario, con la finalidad de evitar fugas de calor y así conservarla en el hogar del horno.

Sus desventajas son posturas forzadas y levantamiento de cargas pesadas, estos dos factores implican el uso necesario de tenazas para elevar el crisol de la fosa conjuntamente con el maneral, convirtiéndolo como desventaja para el operador durante la operación de colada o vaciado a los respectivos moldes.

En la figura 1, se muestra los componentes de un horno lift out.

Figura 1

Horno lift out.



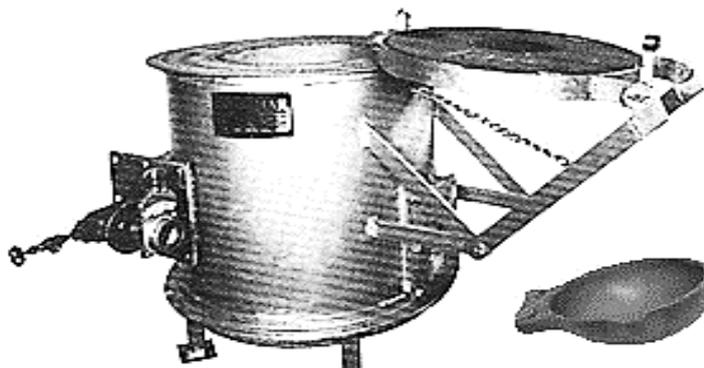
Nota. Tomado de Hornos metalúrgicos (p. 28), por J. A. Aguilar, 2019, <http://recursosbiblio.url.edu>.

2.5.2 Horno bale out

Los hornos bale out o de cucharero, son hornos para una carga metálica de entre 100 kg a 400 kg, son empleados mayormente para la fusión de aluminio y cobre, una vez en su estado líquido, el metal es recogido por un cucharón y es vaciado en los respectivos moldes de coquilla u arena. Su empleabilidad es en pequeñas fundiciones, donde se logran producir piezas ornamentales o piezas de pequeñas dimensiones.

Figura 2

Horno bale out.



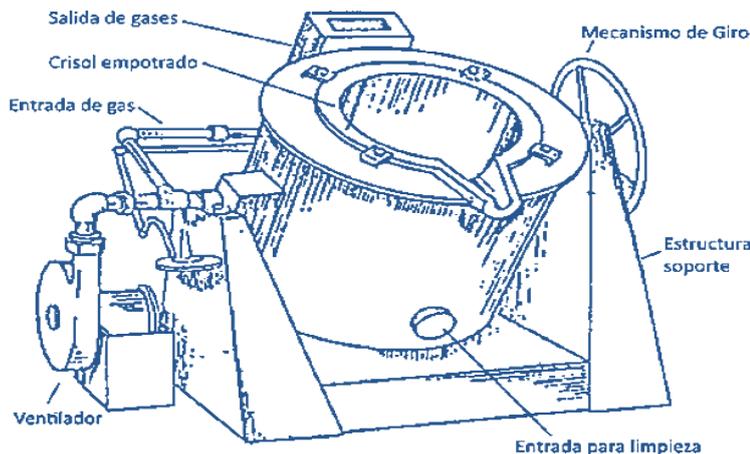
Nota. Tomado de Hornos metalúrgicos (p. 29), por J. A. Aguilar, 2019, <http://recursosbiblio.url.edu>.

2.5.3 Horno basculante

Este tipo de horno de crisol, son versátiles para las coladas directas hacia los respectivos moldes, así mismo, están soportados por una estructura metálica que previamente son diseñados según sea la masa del horno. Su capacidad máxima para la carga metálica es 750 kg y su capacidad mínima es 50 kg, menor a esa cantidad de carga metálica, se emplearía hornos de cuchareo u hornos eléctricos. En la figura 3, se indican las partes de un horno de crisol basculante, se tiene:

Figura 3

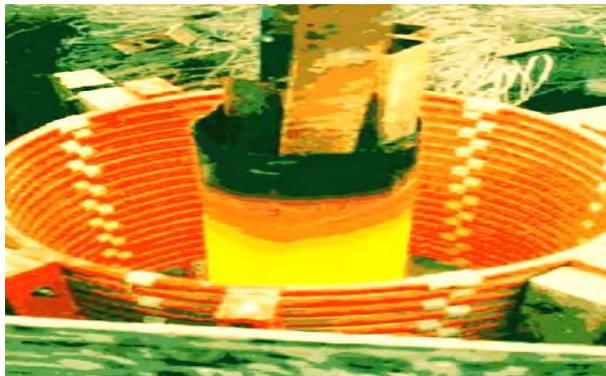
Horno basculante.



Nota. Tomado de Hornos metalúrgicos (p. 31), por J. A. Aguilar, 2019, <http://recursosbiblio.url.edu>.

2.5.4 Horno de inducción

Los hornos de inducción son hornos eléctricos, donde el calor generado, es por la inducción electromagnética de un medio conductor, como es una bobina tubular de cobre y que, a través de él, fluye agua refrigerándola para evitar su sobrecalentamiento. No necesita oxidar combustible alguno para generar calor, y puede aprovecharse hasta en un 98 % de la energía calorífica. Son ideales para la fusión de metales ferros, que normalmente pueden tratar hasta 100 T de carga metálica.

Figura 4*Horno de inducción.*

Nota. Tomado de Hornos metalúrgicos (p. 31), por J. A. Aguilar, 2019, <http://recursosbiblio.url.edu>.

2.6 Materiales que conforman un horno de crisol

2.6.1 Materiales Refractarios

Los materiales refractarios se caracterizan por soportar condiciones severas de temperatura tensiones mecánicas, resistencia a ataques químicos, etc.

Tabla 3

Relación entre el tipo de enlace y propiedades representativas de diferentes materiales.

	Covalente	Iónico	Metálico
Partículas Componentes	Moléculas.	Cationes y aniones.	Cationes y electrones.
Fuerza de enlace	Atracción entre núcleos y electrones compartidos.	Por cargas electrostáticas.	Por e^- libres.
Propiedades	Dureza	• Muy blandos.	• Muy duros y frágil.
	Carácter	• Aislantes.	• Aislantes.
	Punto de fusión	• Bajo o moderado.	• Alto y muy alto.
Materiales	• Polímeros y agua.	• Refractarios.	• Metales.

Nota. Tomado de Ciencia de materiales (p. 26), por M. Montes y J. Cintas, 2016. Montytexto.

2.6.1.1 Clasificación de materiales refractarios

- Refractarios ácidos: Sus componentes principales son el SiO_2 , Al_2O_3 y arcillas.
- Refractarios básicos: Sus componentes principales son el MgO (periclasa), MgCaCO_3 (Dolomita) y MgCr_2O_4 .
- Refractarios neutros: Están compuestos de cromatina y magnesita. Pueden estar compuestos también de refractarios ácidos y básicos simultáneamente.
- Refractarios especiales: Pueden ser de Carburo de silicio, grafito, nitruro de silicio, Zirconio (ZrO_2), circón ($\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$) y siliciuro de molibdeno.

2.6.1.2 Ladrillos refractarios

Estos materiales, pueden tener diversas formas y medidas, acorde al requerimiento deseado. Su manufactura es por extrusión y posteriormente son sometidos a procesos de cocción para darle la dureza requerida. En la tabla 4, se detallan las propiedades de los ladrillos refractarios.

Tabla 4

Propiedades de los ladrillos refractarios.

<i>Propiedades de los ladrillos refractarios</i>			
- Refractariedad	- Estabilidad volumétrica	- Resistencia a la compresión	- Estabilidad química

Nota. Tomado de Notas técnicas calidad de refractarios (p. 39), por J. Bertini, 2017, [http:// Revista del Idiem](http://Revista del Idiem).

a) Ladrillos de arcilla refractaria

Son compuestos por SiO_2 y Al_2O_3 conocidos como ladrillos silicoaluminosos, son altamente versátiles y baratos para su compra, se funden a los $1400\text{ }^\circ\text{C}$. Son ampliamente usados en la construcción de hornos de fundición, su clasificación se puede apreciar en la tabla 5.

Tabla 5*Clasificación de ladrillos silicoaluminosos.*

Clasificación de ladrillos silicoaluminosos	% SiO₂	% Al₂O₃	%Otros compo.	Densidad g/cm³
Super duty	62	30	8	2.24
Hight duty	59	35	6	2.19
Medium duty	55	38	7	2.05
Low duty	52	39	9	2.00

Nota. Tomado de Notas técnicas calidad de refractarios (p. 41), por J. Bertini, 2017, <http://Revista del Idiem>.

- Súper duty, se les considera como súper deber o súper calidad, ya que tienen la capacidad de soportar condiciones de trabajo de hasta 1300 °C. Son resistentes al desgaste, a la acción de escorias, gases y otros agentes químicos.
- High duty o alto deber, son también ampliamente empleados por su buena densidad.
- Medium duty o mediano deber y Low duty o bajo deber. Son empleados para revestimientos en temperaturas moderadas de 900 °C, así mismo tienen la capacidad resistir al ser sometidos a trabajos de temperaturas continuas.

b) Ladrillos de alta alúmina

Estos ladrillos, son denominados aluminosilicatos ya que están formados principalmente por alúmina (Al₂O₃), confiriendo al ladrillo refractario, mejores propiedades en comparación a los ladrillos silicoaluminosos. Un horno de fundición revestido interiormente con este refractarios puede operar hasta los 1800 °C dependiendo del metal a fundir y se funden a los 2000 °C. En la tabla 6, se aprecia la composición de los ladrillos refractarios aluminosilicatos y silicoaluminosos.

Tabla 6

Composición de ladrillos refractarios según su contenido de alúmina.

Ladrillos Refractarios	Al₂O₃	SiO₂	Fe₂O₃	CaO	MgO	Na₂O	K₂O	TiO₂	°C
Alúmino.									
• 50	51.8	41.8	1.8	0.1	0.5		1.3	2.7	1400
• 60	60.2	35.9	0.5	0.4	0.1		0.5	1.4	1500
• 70	70.8	22.7	1.8	0.1	0.3		0.9	3.7	1700
• 80 Corindón	80.5	15.7	1.8	0.2	0.3		1.0	2.2	1800
Silico.									
• Super duty	30	62	1.5	0.3	0.3	0.9	0.2	2.0	1300
• High duty	35	59	2.0	0.3	0.3	0.9	0.2	1.6	1000
• Low duty	39	52	6.0	0.3	0.1	0.5	0.5	1.6	900

Nota. Tomado de Notas técnicas calidad de refractarios (p. 47), por Bertini, 2017, <http://> Revista del Idiem.

c) Ladrillos de corindón

Poseen un alto contenido de alúmina no mayor al 90 % y corindón, tiene propiedades de alta resistencia mecánica, ya que soporta fuerzas de tensión, compresión y de impacto. Su temperatura de trabajo es de hasta 1900°C.

d) Ladrillos de magnesita

Tiene la siguiente composición (MgCO₃ - CaCO₃) en una proporción de 97 % y el resto con demás constituyentes. Son empleados para las fundiciones ferrosas para el revestimiento de los alto hornos, hornos rotatorios y hornos convertidores. Son de excelente resistencia mecánica, resistencia al choque térmico, ataque de gases y vapores, estabilidad volumétrica y altamente durable. La selección de cualquiera de estos ladrillos refractarios, dependerá de las condiciones a la que se someterá.

2.6.1.3 Hormigones refractarios

Son materiales refractarios, compuestos por Al₂O₃, SiO₃, CaO y componentes como

(TiO_2 , Fe_2O_3 y Cr_2O_3). Se utilizan para la junta de lados y vaciado, durante su aplicación sufren un fraguado ofreciendo condiciones de resistencia a elevadas temperaturas. En la tabla 8, se muestra la composición química de los hormigones refractarios y su temperatura de trabajo, los hormigones refractarios se clasifican en:

a) Mortero refractario

Contienen de 40 a 81 % de alúmina y son empleados para sellar las juntas entre los ladrillos refractarios, son empleados para trabajos exigentes en la industria siderúrgica. Tipos: Alta alúmina, extra frío alta alúmina y la maxil alta alúmina.

b) Cemento refractario

Contiene entre 45 a 90 % de alúmina, son empleados para vaciados donde posteriormente sentarían los crisoles o ladrillos refractarios.

Tabla 7

Composición química de los hormigones refractarios.

Temperatura de uso °C	% Al_2O_3	% CaO	% $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$
1350	40-42	38-39	12-13
1600	60-62	27	2-3
1700	70-72	26-27	0.1-0.2
1850	78-81	17-19	0.1-0.2

Nota. Tomado de Tratamiento y valoración energética de residuos (p. 33), por Castells, 2017, Pearson educación.

2.6.1.4 Crisol refractario

Denominados también vasos de fundición en él, se dispone la carga metálica a fundir o los metales a caldearse, estos pueden ser de porcelana y para fundiciones más bruscas, son de grafito o carburo de silicio.

La capacidad de un crisol puede variar desde pequeñas cantidades en gramos hasta 1000 kg.

Tabla 8*Propiedades de un crisol refractario*

<i>Propiedades de un crisol refractario</i>		
- Resistencia a la compresión.	- Antiadherente.	- Resistencia a la corrosión.
- Refractariedad.	- Resistencia a los gases y vapores.	
- Estabilidad volumétrica.	- Resistencia al desgaste.	

Nota. Tomado de Notas técnicas calidad de refractarios (p. 33), por Bertini, 2017, <http://> Revista del Idiem.

2.6.1.4.1 Crisol de grafito

Los crisoles de grafito, son una formación de carbono cristalino que, al combinarse con arcillas refractarias, le confiere buenas propiedades térmicas tales como conductividad térmica, resistencia a la compresión, resistencia al desgaste, etc. Así mismo, son empleados para la fusión de metales como aluminio, cobre, magnesio y aleaciones como bronce y latones.

2.6.1.4.2 Crisol de carburo de silicio

Los crisoles de carburo de silicio, son refractarios especiales que resulta de la combinación de coque y cuarzo (SiO_2), lo que le confieren excelentes propiedades térmicas principalmente conductividad térmica, resistencia al choque térmico, resistencia a la corrosión, resistente al desgaste, resistente a elevadas temperaturas y tiene una excelente vida útil. Su empleabilidad es para metales para metales como aluminio, cobre y aleaciones.

2.6.1.5 Aislantes térmicos

Los aislantes térmicos, se caracterizan por su baja conductividad térmica, existen distintos tipos de aislantes térmicos para diferentes aplicaciones tales como fibra de vidrio, fibra de mineral, fibra de cerámica, etc. Estos materiales, se emplean para reducir el flujo de

calor al exterior y cabe resaltar que a mayor espesor de aislante térmico menor será el flujo de calor, pero será mayor su costo de inversión. Se presentan los espesores recomendados establecido por TIMA.

Tabla 9

Espesores recomendados de aislamiento.

Temperatura superficial	% Al₂O₃
66 °C (159 °F)	2" (5.1 cm)
121 °C (250 °F)	3" (7.6 cm)
177 °C (350 °F)	4" (10.2 cm)
288 °C (550 °F)	6" (15.2 cm)
400 °C (750 °F)	9" (22.9 cm)
510 °C (950 °F)	10" (25.44 cm)

Nota. Tomado de Transferencia de calor y masa (p. 402), por Y. A. Cengel, 2007, McGraw-Hill.

a) Fibra de cerámica

Son ampliamente empleados debido a su precio y versatilidad para diferentes aplicaciones.

Presenta propiedades térmicas importantes, como su baja conductividad térmica de 0.2

W/m°C y buena resistencia a la tensión. Su temperatura máxima de operación es de 1260 °C.

b) Fibra de vidrio

Se obtiene a partir de vidrio por centrifugación, posee una muy baja conductividad térmica de 0.02 W/m°C convirtiéndolo en un excelente aislante térmico y sumamente ligero. Su temperatura máxima de operación es 1500 °C aproximadamente. También se posiciona después del refractario, vale decir nunca debe estar en contacto con la llama producido por la combustión.

c) Fibra mineral

Denominada también lana de roca, cuya materia prima es el basalto y otros componentes, también se usa en la segunda cara, son resistentes al ataque por ácidos y gases, opera hasta los 1700 °C y tiene una conductividad térmica de 0.01 W/m°C.

2.7 Carcasas metálicas para hornos de fundición

Son revestimientos o corazas metálicas que protegen a los materiales refractarios y también reducen la radiación generada por el calor a altas temperaturas. Tales son los aceros termorresistentes que, se caracterizan por ser aceros austeníticos; es decir, su austenización inicia a los 723 °C solubilizando al carbono en el hierro gamma entre 0.8 % a 1.76 % y finaliza su austenización a los 1125 °C. Es por ello que, para darle estabilidad en la fase gamma, la presencia de los elementos como el cromo y níquel deben estar por encima del 18 % y 8 % respectivamente. La tabla 10, muestra la composición química del acero inoxidable austenítico AISI 310.

Tabla 10

Composición química del acero inoxidable AISI 310.

Comp. Química	Aleación 310 UNS S31000	Aleación 310S UNS S31008
C	0.25	0.08
Mn	2.0	2.0
P	0.045	0.045
S	0.03	0.03
Si	1.75	1.5
Cr	24.0 min./26.0 máx.	24.0 min./26.0 máx.
Ni	19.0 min./22.0 máx.	24.0 min./26.0 máx.
Fe	Balance	Balance

Nota. Tomado de Propiedades del acero Inox AISI 310 (p. 2), por Sandmeyer Steel Company, 2021, <https://dtesteel.com>.

En la tabla 11, se muestra también las propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 310.

Tabla 11

Propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 310.

Temperatura de Prueba	Punto de Cedencia	Resistencia a la Tensión
°C	MPa	MPa
66	290	621
204	241	552
538	166	455
649	152	379

Nota. Tomado de Propiedades del acero Inox AISI 310 (p. 3), Sandmeyer Steel Company, 2021, <https://dtesteel.com>.

Otro acero austenítico resistente a elevadas de temperaturas es el AISI 314.

Tabla 12

Composición química del acero inoxidable AISI 314.

C/máx.	Si	Mn/máx.	P/máx.	S/máx.	N/máx.	Cr	Ni
0.2	1.5-2.5	621	0.045	0.015	0.11	24-26	19-22

Nota. Tomado de Propiedades del acero Inox AISI 314 (p. 5), por Stainless structurals, 2021, <https://www.tisco-js.com>.

En la tabla 13 se precisan las propiedades químicas del acero AISI 314.

Tabla 13

Propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 314.

Tamaño máx.	HB	Resist. a la tracción	Límite de fluencia
100	223	230	270

Nota. Tomado de Propiedades del acero Inox AISI 314 (p. 5), por Stainless structurals, 2021, <https://www.tisco-js.com>.

Estos aceros al carbono termoresistentes contienen un porcentaje máximo de carbono de 0.15

%, molibdeno de entre 0.5 % a 1.5 % y cromo 9 %.

Por otra parte, los aceros al carbono considerados termorresistentes, son aquellos que pueden ser empleados cuando las condiciones de temperatura y oxidación no son tan severas.

Los aceros termorresistentes, pueden estar sometidos hasta los 540 °C, posterior a este punto máximo de temperatura, el acero podría sufrir fisuras internas como internas.

Tabla 14

Aceros al carbono termoresistentes.

Estándares	Grados	Aplicaciones
ASTM A106	Grado B y C	Tubos sin costura para aplicaciones de alta temperatura.
ASTM A192	ASTM A192	Para calderas y tubos para servicios de alta temperatura
ASTM A179	ASTM A179	Tubos para condensadores para avientes fríos.

Nota. Tomado de Aceros termoresistentes (p. 2), por Stainless structurals, 2021, <https://www.tisco-js.com>.

Tal es el acero ASTM A106 son ampliamente usados como carcasas en calderas y calentadores.

Tabla 15

Composición química del acero ASTM A106.

Grado	C	Mn	Si	Cu	Ni	Cr	Mo	V	P	S
A	0.25	0.27	0.1	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08	0.03	0.04
B	0.3	0.29	0.1	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08	0.03	0.04
C	0.35	0.29	0.1	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08	0.03	0.04

Nota. Tomado de Propiedades del acero ASTM A106 (p.3), por Stainless structurals, 2021, <https://www.tisco-js.com>.

Tabla 16

Propiedades mecánicas del acero ASTM A106.

Propiedades mecánicas		
Grado	Resistencia a la tracción (Mpa)	Resistencia a la tracción (Mpa)
A	330	205
B	415	240
C	485	275

Nota. Tomado de Propiedades del acero ASTM A106 (p.4), por Stainless structurals, 2021, <https://www.tisco-js.com>.

2.7.1 Aceros estructurales

Son aceros que contiene al hierro, carbono y otros elementos aleantes como el silicio manganeso, fosforo y azufre. Se caracterizan por tener buenas propiedades como alta resistencia a la tracción, buena soldabilidad, resistencia a la corrosión y ductilidad.

- Aceros de bajo carbono: Entre 0.05 % a 0.30 % de carbono. Utilizados en tuberías, varillas de refuerzo, corazas o en elementos que requieran propiedades de maleabilidad, ductilidad y plasticidad. Son de excelente soldabilidad.
- Acero de medio carbono: Entre 0.30% a 0.45 % de carbono. Utilizados en engranes, ejes, chumaceras o en elementos destinados para funciones de alta resistencia mecánica, como dureza y tenacidad. La soldabilidad requiere de cuidados especiales, como el precalentamiento antes de soldar.
- Acero de alto carbono: Entre 0.45 % a 0.90 % de carbono. Son altamente resistentes y a la vez frágiles. Su soldabilidad es considerada de riesgo, debido a que podría agrietarse sin un previo calentamiento.
- Aceros de herramienta: Entre 0.90 % a 1.5 % de carbono. Generalmente ya contienen otros elementos como aleación mejorando sus propiedades mecánicas.

La tabla 17, clasifica a los aceros según norma ASTM en función a sus propiedades mecánicas.

Tabla 17*Clasificación de los aceros según norma ASTM.*

Aceros según ASTM	Límite elástico		Tensión de rotura	
	Ksi	MPa	Ksi	MPa
A 36	36	250	58-80	400-550
A 53	35	240	60	415
A 500 Grado A	33	228	45	310
Grado B	42	290	58	400
A 501	36	250	58	500
A 516 Grado A	30	205	55-75	380-515
Grado B	32	220	60-80	415-550
A 524 Grado A	35	240	60-85	415-586
Grado B	30	205	55-80	380-550
A 570 Grado A	30	205	49	340
Grado B	33	230	52	360
Grado C	36	250	53	365
Grado D	40	275	55	380
A 709 Grado A	36	250	58-80	400-550
API 5L Grado A	35	240	60	415
Grado B	42	290	60	415

Nota. Tomado de Clasificación de aceros según normas ASTM (p. 8), por Standard Test Methods, 2019, <https://ipstesting.com>.

2.7.1.1 Acero ASTM A36

Son aceros estructurales que contiene carbono de entre 0.25 % a 0.29 % por lo que se considera como un acero suave. Generalmente son comparados con el acero AISI 1018 debido a su composición química similar, propiedades mecánicas similares de resistencia, dureza, tenacidad, fragilidad y maleabilidad.

Las características del acero ASTM A36 son buena soldabilidad, buena resistencia mecánica y buen conductor del calor.

Tabla 18*Composición química del acero ASTM A36.*

Grado	C	Si	Mn	P	S	Cu
A	0.25	0.4	0.75	0.03	0.03	0.02
B	0.25	0.4	0.8-1.2	0.03	0.03	0.02
C	0.26	0.15-0.4	0.8-1.2	0.03	0.03	0.02
D	0.27	0.15-0.4	0.85-1.2	0.03	0.03	0.02
E	0.29	0.15-0.4	0.85-1.2	0.03	0.03	0.02

Nota. Tomado de Propiedades del acero ASTM A36 (p. 4), por Standard Test Methods, 2019, <https://ipstesting.com>.

2.7.1.2 Acero ASTM A500

Son aceros que contiene entre 0.23 % a 0.26 % de carbono en su composición química. La tabla 19, muestra su respectiva composición química del acero ASTM 500

Tabla 19*Composición química del acero ASTM A500.*

Grado	C	Si	Mn	P	S	Cu
A	0.26	1.4	1.35	0.03	0.03	0.2
B	0.26	1.4	1.35	0.03	0.03	0.2
C	0.23	1.15-1.4	1.35	0.03	0.03	0.2

Nota. Tomado de Propiedades del acero ASTM A500 (p. 2), por Standard Test Methods, 2019, <https://ipstesting.com>.

2.8 Soldabilidad en aceros de bajo carbono

La soldabilidad como tal, viene a ser la mayor o menor facilidad en la que una base metal, permite que se obtengan soldaduras homogéneas, de gran calidad y que respondan a la necesidad para las que fueron diseñadas en un proceso de manufactura metálica o de infraestructura.

Todos los aceros de bajo contenido de carbono son soldables por el proceso de soldadura por arco eléctrico ya que no requieren de precalentamiento.

2.8.1 Procedimientos para soldar aceros de bajo carbono

Los siguientes factores determinan una buena soldadura, tales como:

- Electrodo apropiados para la junta de piezas metálicas: Seleccionar el tipo de electrodo a emplear y el diámetro del electrodo, para la selección del electrodo se toma en cuenta los siguientes factores:
 - Máquina de soldar: Hay máquinas de tipo transformador – rectificador proporcionan corriente continua y alterna, son recomendable en comparación a las máquinas tipo rectificador que proporcionan corriente continua o las de tipo transformador que solo proporcionan corriente alterna. En la tabla 20, se muestran los tipos de electrodos que únicamente trabajan con corriente continua.

Tabla 20

Electrodos para corriente continua.

Alternativa A	Alternativa B
CELLOCORD P	CHANFERCORD
CELLOCORD 70	CITOCROM 134
CELLOCORD 70-T	CITOBRONCE
INOX AW	EXA 206

Nota. Tomado de manual de soldadura (p. 70), por EXSA-OERLIKON, 2021, <https://docer.com.ar>.

- Posición de la soldadura: La mayoría de los electrodos normalmente trabajan en las diversas posiciones de trabajo ya sea plana, horizontal vertical y sobre cabeza.
- Espesor y dimensiones de la pieza a soldar: Este factor se emplea cuando tiene que elegirse el diámetro del electrodo y es en función al espesor de la pieza soldar, tipo de unión (junta a tope o filete) y la clase de trabajo a realizar (soldadura de relleno

o soldadura de unión). La tabla 21 muestra el espesor del material a soldar y el diámetro óptimo del electrodo a utilizarse.

Tabla 21

Diámetro del electrodo.

Espesor del material a soldarse					
1/16 "	1/8 "	5/32 "	3/16 "	1/4 "	3/8 "
a	a	a	a	a	a
3/32 "	5/32 "	1/4 "	3/8 "	1/2 "	3/4 "
Diámetro del electrodo					
3/32 "	1/8 "	5/32 "	5/32 "	3/16 "	1/4 "
			a	a	
			3/16 "	1/4 "	

Nota. Tomado de manual de soldadura (p. 80), por EXSA-OERLIKON, 2021, <https://docer.com.ar>.

- Aspecto del cordón a desear: Es mayormente para la estética de la unión soldada como superficie lisa, uniforme y de forma; los electrodos de bajo hidrógeno como el FERROCITO 24 y 27 son ideal para estos aspectos. Los electrodos rutilicos como el de la clase OVERCORD - E 6013, son electrodos de quejan buena apariencia o superficies lisas.
- Propiedades específicas del cordón de soldadura: El metal depositado y la base metálica, es requerido para trabajos de alta precisión o mayores exigencias.
- Amperaje correcto.

Cada diámetro del electrodo corresponde una determina escala de amperaje tal como se muestra en la tabla 22. Un amperaje insuficiente, dificulta mantener el arco, abulta el material depositado y la penetración es mala. Mientras que un amperaje en exceso genera exceso de salpicaduras, el cordón es chato y se calienta el electrodo.

Tabla 22

Escala de amperajes para diferentes diámetros de electrodos.

Espesor (mm)	Diámetro recomendado para el electrodo	Amperaje sugerido (A)
3.17	1/8"	90-100
2.65	1/8"	80-100
2.30	3/32"	45-65
1.89	3/32"	25-45
1.51	1/16"	20-30

Nota. Tomado de manual de soldadura (p. 81), por EXSA-OERLIKON, 2021, <https://docer.com.ar>.

- Longitud de arco adecuado.

La longitud de arco se mide por los resultados del material depositado o por la forma del cordón. Una longitud de arco muy corta, produce deposiciones irregulares gruesas y tendencia a pegarse al metal base. Mientras que un arco muy largo, genera salpicaduras, el cordón se sobremontona y el ancho del cordón es indeseable. Un arco correcto se logra con la práctica.

- Ángulo de inclinación apropiado.

Influye en la forma, aspecto del cordón y en su penetración. Un ángulo muy cerrado el metal se deposita en exceso y mala conformación del cordón.

- Velocidad apropiada.

Para producir buenas juntas soldadas la velocidad de avance debe ser correcta. Una velocidad lenta produce abultamiento y una velocidad rápida produce un cordón delgado.

- Juntas limpias, libres de óxido, aceite y agua.

La tabla 23, muestra la composición química de aceros de bajo contenido de carbono según norma AISI.

Tabla 23

Composición química de aceros de bajo contenido de carbono.

Acero AISI	C	Mn	P	S
1015	0.13-0.18	0.30-0.60	0.04	0.05
1018	0.15-0.20	0.60-0.90	0.04	0.05
1019	0.15-0.20	0.70-1.0	0.04	0.05
1021	0.18-0.23	0.6-0.9	0.04	0.05
1024	0.19-0.25	1.35-1.65	0.04	0.05
1025	0.22-0.28	0.30-0.60	0.04	0.05
1027	0.22-0.29	1.20-1.50	0.04	0.05
1029	0.25-0.31	0.60-0.90	0.04	0.05
1030	0.28-0.34	0.60-0.90	0.04	0.05

Nota. Tomado de manual de soldadura (p. 85), por EXSA-OERLIKON, 2021, <https://docer.com.ar>.

Para aceros desde 0.13 % a 0.25 % de carbono, se emplean electrodos como CELLOCORD 70, FERROCITO 24, SUPERCITO, TENACITO 75, TENACITO 80 y TENACITO 110. Para los aceros desde 0.22 % a 0.34 % de carbono, se emplean electrodos como SUPERCITO, TENACITO 65, TENACITO 75, TENACITO 80 y UNIVERS CR.

2.9 Generalidades de la combustión

“La combustión es una reacción química exotérmica que, al combinarse combustible, oxígeno o comburente y energía de activación, la reacción libera calor” (Castells, 2017, p. 72).

Los combustibles pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos de diferentes poderes caloríficos.

Si bien, su aplicación puede estar limitado según la forma en la que se la requiera, por su poder calorífico, disponibilidad y costos. En la industria de la Siderurgia, en el alto horno se emplea el coque siderúrgico como fuente de energía para la fusión del hierro, en la actualidad, se van empleando en los hornos eléctricos, ya que su eficiencia térmica puede lograr que el tiempo de fusión sea en cuestión de segundos.

Tabla 24*Poder calorífico de combustibles industriales*

Combustibles	Kcal/Kg	BTU/lb
Hidrógeno	33.9	60.9
Lignito	13.2	23.74
Gas Natural	13.0	23.3
GLP	11.9	21.4
Gasolina	11.3	20.3
Diésel	10.7	19.24
Carbón	7.8	4.33
Etanol	7.1	3.9
Madera	3.6	2.0

Nota. Tomado de Gas natural propiedades y uso (p.27), por J. H. Viloche, 2019, <https://www.ipcperu.net>.

a) Combustibles sólidos

En la industria de la Siderurgia para la producción del acero, se emplea como combustible al coque siderúrgico, su poder calorífico es de 7.648 kcal/kg.

b) Combustibles líquidos

El combustible líquido mayor empleado en la fundición es el diésel o simplemente petróleo, su poder calorífico es 10.700 kcal/kg. No obstante, la combustión del petróleo genera un exceso de humos impactando al medio ambiente.

c) Combustibles gaseosos

Otra alternativa como fuente de energía para las fundiciones, es el gas licuado de petróleo o simplemente GLP, está constituido principalmente por propano, butano y demás constituyentes. Son fácilmente almacenados en forma líquida en depósitos como tanques o balones en donde el gas se encuentra comprimido ocupando menor volumen, pero en mayor densidad. Su poder calorífico del GLP es 11900 kcal/kg (Fuentes, 2019).

Tabla 25

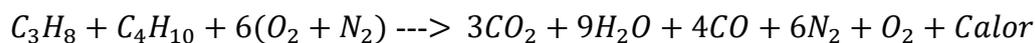
Propiedades del gas propano y butano.

Características	Propano (C₃H₈) (70%)	Butano (C₄H₁₀) (30%)
Densidad del gas.	0.25	0.27
Densidad del líquido.	0.3	0.29
Peso de un l en kg.	0.50	0.56
1m ³ de aire para quemar	24	30
1m ³ de gas.		
Poder calorífico kcal/l líquido.	6100	6800
Poder calorífico kcal/kg líquido.	11900	11800

Nota. Tomado de Gas natural propiedades y uso (p.50), por J. H. Viloche, 2019
<https://www.ipcperu.net>.

2.10 El exceso de aire en la combustión

El exceso de aire posibilita una combustión completa del combustible y permite aprovechar el 100 % de su poder calorífico. Para el GLP, la reacción química se muestra a continuación.

**Tabla 26**

Composición simplificada del aire

Comp. Química	% X	% Y
N ₂	79	76.7
O ₂	21	23.3

Nota. Tomado de Gas natural propiedades y uso (p.54), por J. H. Viloche, 2019, <https://www.ipcperu.net>.

Tabla 27*Porcentajes de aire en exceso.*

Combustible	(%) aire en exceso
Fuelóleo	20
Carbón pulverizado	25
Kerosene	20
Gas LP y natural	15

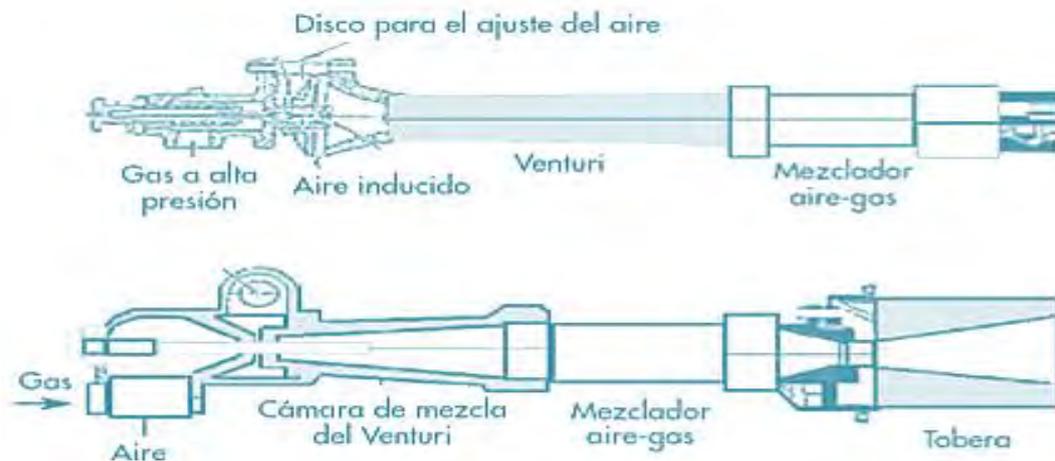
Nota. Tomado de Tratamiento y valoración energética de residuos (p. 83), X. E. Castells, 2017 Pearson educación.

Un sobre exceso de aire en la combustión, generarían desventajas como:

- a) Disminución de la temperatura de la llama o antorcha.
- b) Perdida de la llama o antorcha.
- c) Amplitud larga de la llama o antorcha

2.11 Tipos de quemadores

Los quemadores tienen por objetivo, mezclar el combustible con el comburente, y generar una combustión controlada y constante. Así mismo, están conformados por un motor eléctrico que normalmente son trifásicos con la capacidad del convertir energía eléctrica trifásica en energía mecánica. Estos motores son de varias capacidades desde una fracción de caballo hasta varios miles de caballos de fuerza en “HP”; su rendimiento es elevado típicamente 75 %. Los quemadores automáticos, poseen un ventilador para generas grandes turbulencias de aire así mismo, tienen la capacidad de mezclar de manera óptima tanto aire y combustible permitiendo obtener la cantidad de calor calculada y facilidad de control.

Figura 5*Quemadores trifásicos.*

Nota. Tomado de Catálogo de quemadores a gas (p.23), por ASLER & CIA, 2021
<http://termotecnica.com.pe/>

2.12 Sistema termodinámico

Un sistema termodinámico, es una porción del universo separado para fines de estudio que, al mismo tiempo, este sistema interactúa con sus alrededores. Estos sistemas se clasifican en sistema aislado, sistema cerrado y sistema abierto. Los sistemas aislados, no intercambian materia ni energía con sus alrededores, pero en la realidad no existen a la perfección dichos sistemas. Por otra parte, un sistema cerrado intercambia energía, más no materia y un sistema abierto, puede intercambiar materia y energía libremente con el entorno.

- Primera ley de la termodinámica: Al modificar la energía interna de un sistema por transferencia de calor, este responde realizando trabajo ($\Delta U = Q + W$). (Clausius, 1822).
- Segunda ley de la termodinámica: En todo proceso termodinámico, la energía útil siempre disminuye o bien se disipa, por tanto, el rendimiento térmico de las maquina nunca será al 100 %. (Carnot, 1796).
- Tercera ley de la termodinámica: Un sistema que alcance el cero absoluto los procesos

cesan no la transferencia de energía es nula y por tanto su nivel de desorden o entropía es mínimo. El cero absoluto, es la temperatura más fría y tiene un valor de cero Kelvin o -273.15 °C. (Kelvin, 1848).

2.12.1 Procesos termodinámicos

Es preciso aclarar que el trabajo termodinámico, es la causante de la variación de la energía interna de un sistema, sin depender de la diferencia de temperaturas. Los procesos termodinámicos se clasifican en:

- Procesos adiabáticos: El sistema no intercambia calor. El $Q = 0$ y la $\Delta U = W$.
- Procesos isocóricos: En el sistema el volumen es constante. El $W = 0$ y la $\Delta U = Q$.
- Procesos isobáricos: En el sistema la presión es constante. $Q = \Delta H$.
- Procesos isotérmicos: En el sistema la temperatura es constante. $\Delta U = 0$ y $Q = W$.

2.12.2 Entalpía

Es la cantidad de calor que un sistema termodinámico libera o absorbe calor del entorno a presión y volumen constante. Su unidad de medida es el Joule (J), su fórmula es $\Delta H = E + PV$. Si un sistema tuvo que tomar energía del entorno para incrementar su temperatura, su entalpía será negativa ($-\Delta H$), si lo contrario, si el sistema no recibe energía del entorno para variar su temperatura, su entalpía es positiva ($+\Delta H$).

2.13 Regímenes de transferencia de calor

a) Régimen estacionario

Bajo este régimen, el flujo de calor o transferencia de calor permanece inalterado con el transcurso del tiempo. La transferencia de calor a través de la pared de una casa será estable si las condiciones de temperatura en la parte interna y externa no varían con el tiempo.

b) Régimen transitorio

Bajo este régimen, flujo de calor varía con el transcurso del tiempo, es decir, al variar las

condiciones de temperatura durante el transcurso del tiempo, el flujo calorífico es alterado.

2.14 Mecanismos de transferencia de calor

El calor siendo una forma de energía, puede ser transferida desde un sistema a otro, siempre y cuando haya una diferencia de temperaturas, y se completa al alcanzar el equilibrio.

La transferencia de esta energía, se da 3 modos diferentes, estas son:

- a) **Conducción:** Se produce cuando las moléculas más energéticas, se transfieren hacia las menos energéticas a través de un medio. La rapidez de la conducción de calor, dependerá de la forma, espesor y tipo del medio del que este hecho. Así mismo, las propiedades como calor específico y conductividad térmica, determinan la empleabilidad de un material para ciertas aplicaciones.
- b) **Convección:** Para que ocurra convección, se requiere de 2 medios, un cuerpo sólido y un fluido como el gas. Así mismo, los tipos de convección pueden forzadas o natural. En la convección forzada, el fluido o aire, es forzado a fluir sobre una superficie mediante agentes externos como un ventilador. En tanto la convección natural, se genera en condiciones normal, sin ningún agente externo.
- c) **Radiación:** Es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas o fotones. A diferencia de la conducción y convección, este no requiere de algún medio, se puede propagar en el vacío y a una velocidad cercana a la de la luz.

Todos los cuerpos o materiales, emiten cierta cantidad de radiación y esta, la determina la propiedad de emisividad de un cuerpo, cuyo valor está en el intervalo de $0 \leq \varepsilon \leq 1$.

Las propiedades que determinan la radiación, son la absorptividad y emisividad. Un cuerpo negro, por excelencia, es un absorbedor y emisor de fotones.

La emisividad (ε) y absorptividad (α), dependen de la temperatura y de la longitud de onda de la radiación. Por otra parte, no puede ocurrir simultáneamente los 3 mecanismos de transferencia de calor, más si podría ocurrir, la combinación de conducción y radiación, pero no

convección, o la combinación de radiación y convección.

2.14.1 Flujo de calor por conducción

El flujo de calor por conducción, se puede expresar mediante la ecuación de Fourier como:

$$\dot{Q}_{Cond.} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (W) \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde k es la conductividad térmica del material, A es el área de conducción del calor y $\frac{dT}{dx}$ es gradiente de temperatura o la variación gradual de la temperatura con la distancia o espesor.

2.14.1.4 Capacidad calorífica y conductividad térmica

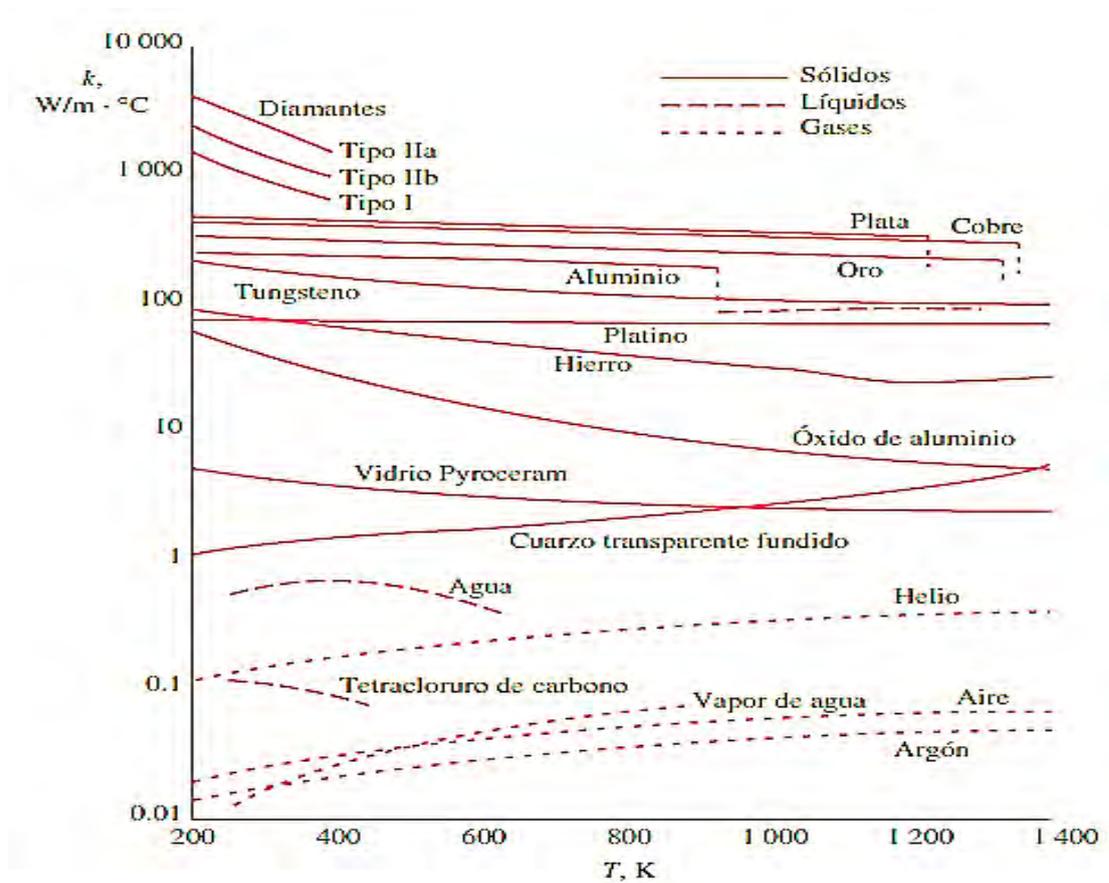
La capacidad calorífica, es una propiedad extensiva que viene a ser la cantidad de calor requerida para elevar en 1 °C la temperatura de una determinada cantidad de sustancia, así mismo su unidad de medida es el J/°C. Por otra parte, el calor específico C_p , es una propiedad intensiva, es decir no depende de la cantidad de materia, ya que es una propiedad determinada de cada sustancia o material y su unidad de medida es el J/g °C.

La conductividad térmica denotado por K y cuya unidad de medida es el W/m °C, viene a ser la capacidad de un material para conducir calor, por lo que se define como, la razón de transferencia de calor a través de un espesor unitario del material por unidad de área y por unidad de diferencia de temperatura.

La variación de la conductividad térmica a diferentes rangos de temperatura, se puede considerar despreciable para los metales, ya que son consignados como buenos conductores del calor a diferentes temperaturas, esto se logra apreciar en la figura 6.

Figura 6

Conductividades térmicas de diferentes materiales.



Nota. Tomado de Transferencia de calor y masa (p. 23), por Y. A. Cengel, 2007, McGraw-Hill.

2.14.1.5 Flujo de calor en paredes cilíndricas

La transferencia de calor a través paredes cilíndricas, se dan de manera unidimensional, cada capa ofrece cierta resistencia al paso del flujo de calor, así como también dependerá del espesor de cada capa cilíndrica y de sus propiedades térmicas. En tanto, la ecuación del flujo de calor a través de múltiples capas cilíndricas, se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{Cond.cil} = \frac{T_1 - T_2}{R_{total}} \quad (W) \quad \text{Ec. 2.2}$$

Donde R_{total} , es la resistencia térmica total y se expresada como:

$$R_{total} = R_{conv.1} + R_{cil.1} + R_{cil.2} + R_{cil.3} + R_{conv.2} \quad \text{Ec. 2.3}$$

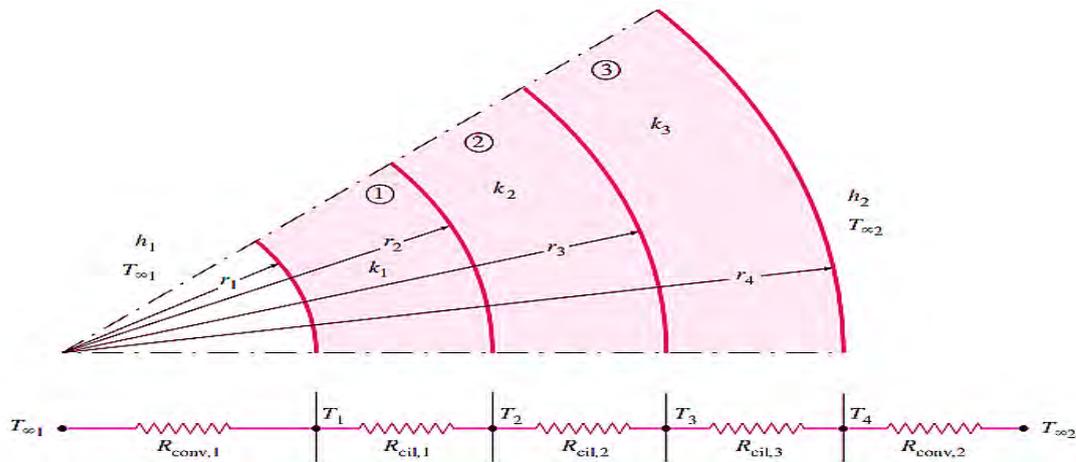
$$R_{total} = \frac{1}{h_1 A_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_1 L} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_2 L} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi k_3 L} + \frac{1}{h_2 A_2} \quad \text{Ec. 2.4}$$

Donde: $A_1 = 2\pi r_1 L$ y $A_2 = 2\pi r_2 L$

En la figura 7, se muestra el flujo de calor a través de múltiples capas cilíndricas y de cierta longitud L .

Figura 7

Red de resistencias térmicas en múltiples capas cilíndricas.



Nota. Tomado de Transferencia de calor y masa (p. 149), por Y. A. Cengel, 2007, McGraw-Hill.

2.14.2 Flujo de calor por convección

El flujo de calor por convección como ya se mencionó, se da por acción de un fluido mientras más rápido sea el flujo del fluido, mayor es el flujo de calor por convección, esta forma de flujo se considera convección forzada que, a su vez, este se divide en convección externa y convección interna en tanto, si flujo del fluido es lento, el flujo de calor por convección es menor y es conocida como convección natural. El flujo de calor por convección es expresado por la ley de Newton o ley de enfriamiento.

$$\dot{Q}_{conv} = h A_S (T_1 - T_2) \quad (\text{W}) \quad \text{Ec. 2.5}$$

Donde h , es el coeficiente de transferencia de calor por convección en W/m^2 , A_S , es el área a través del cual ocurre la transferencia de calor por convección y $T_1 - T_2$, son las temperaturas de superficie y del fluido. En la figura 8, se aprecia la diferencia del flujo de calor

por convección forzada y la convección natural.

Figura 8

Convección forzada y convección natural.



Nota. Tomado de Transferencia de calor y masa (p. 149), por Y. A. Cengel, 2007, McGraw-Hill.

2.14.2.4 Convección externa forzada

Un fluido gaseoso o líquido que fluye por la parte externa de un cuerpo sólido, este ofrece resistencia al paso del fluido siendo por fricción ya que el fluido al ser inducido forzosamente, este ejerce fuerzas cortantes y tangenciales. Si el fluido no es forzado, este ejerce fuerzas perpendiculares. Para determinar si el flujo es turbulento o laminar, el número de Reynolds es quien la caracteriza, para un número de $Re < 2 \times 10^5$ se considera laminar y se convierte turbulento si $Re \geq 2 \times 10^5$.

La ecuación del número de Reynolds se expresa como:

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{\rho VD}{\mu} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Donde D , es el diámetro del cuerpo cilíndrico, V es la velocidad del fluido, ν es la viscosidad cinemática, μ es la viscosidad dinámica y ρ es la densidad del fluido.

Si bien, se mencionó que la parte externa del sólido ofrece cierta resistencia al paso del fluido, esta resistencia se denota por C_D o coeficiente de resistencia al movimiento, ver Anexo 2. Por otra parte, los fenómenos la resistencia al movimiento, interfieren el flujo de calor

reduciéndola, y este efecto es denotado por el número de Nusselt, y se expresa en la siguiente ecuación:

$$Nu = \frac{hD}{k} = CRe^m Pr^n \quad \text{Ec. 2.7}$$

Donde Pr , es el número de Prandtl, que viene la rapidez en la que se propaga el flujo de calor por acción del fluido. Así mismo, $n = 1/3$ y las constantes C y m , pueden ser determinados empleando la siguiente figura 9.

Figura 9

Correlaciones empíricas para el número de Nusselt.

Sección transversal del cilindro	Fluido	Rango de Re	Número de Nusselt
Círculo 	Gas o líquido	0.4-4	$Nu = 0.989Re^{0.330} Pr^{1/3}$
		4-40	$Nu = 0.911Re^{0.385} Pr^{1/3}$
		40-4 000	$Nu = 0.683Re^{0.466} Pr^{1/3}$
		4 000-40 000	$Nu = 0.193Re^{0.618} Pr^{1/3}$
		40 000-400 000	$Nu = 0.027Re^{0.805} Pr^{1/3}$

Nota. Tomado de Transferencia de calor y masa (p. 114), por Y. A. Cengel, 2007, McGraw-Hill.

Así mismo, todo cuerpo sólido como ya se indicó, ofrece cierta resistencia al flujo de calor R , estas resistencias, se pueden expresar en las siguientes ecuaciones, tanto para flujo de calor por conducción y flujo de calor por convección.

- Resistencia térmica por convección:

$$R_{conv} = \frac{1}{hA} \quad ^\circ C/W \quad \text{Ec. 2.8}$$

- Resistencia térmica por conducción:

$$R_{conv} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi kL} \quad ^\circ C/W \quad \text{Ec. 2.9}$$

2.14.2.5 Convección interna forzada

El flujo laminar o turbulento por convección interna en cuerpos cilíndricos, es denotado también por el número de Reynolds.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad \text{Ec. 2.10}$$

Donde V , es la velocidad del fluido, D es el diámetro del cuerpo cilíndrico y $\nu = \mu/\rho$ es la viscosidad cinemática del fluido. Para un flujo laminar en cuerpos cilíndricos, el número de $Re \leq 2300$ y para flujos turbulentos $Re > 10000$. Para flujos laminares, la fricción en interior del cuerpo cilíndrico, ofrece resistencia al pazo del fluido, denotado como factor de fricción, cuya ecuación es la siguiente:

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{Ec. 2.11}$$

El número de Nusselt para convección interna forzada, se expresa en la siguiente ecuación:

$$Nu = \frac{hD}{k} = 3.66 + \frac{0.065 (D/L) Re Pr}{1+0.04((D/L)Re Pr)^{2/3}} \quad \text{Ec. 2.12}$$

Donde D , es el diámetro del cilíndrico y L es la longitud del cuerpo cilíndrico.

Por otra parte, el factor de fricción para un flujo turbulento, depende del número de (Re) y de la aspereza relativa ε/D . Con el diagrama de Moody, se puede determinar directamente el factor de fricción, ya que este diagrama relaciona el número de Reynolds y a la aspereza relativa del cuerpo cilíndrico, ver Anexo 3. El número de Nusselt para convección interna forzada incluida en factor fricción, esta denotado por la siguiente ecuación:

$$Nu = \frac{(f/8)(Re-1000)Pr}{1+12.7(f/8)^{0.5}(Pr^{2/3}-1)} \quad (0.5 \leq Pr \leq 2000) \text{ y } (3 \times 10^3 < Pr < 5 \times 10^6) \quad \text{Ec. 2.13}$$

2.14.2.3 Convección natural

Como ya se había indicado, en una convección natural el movimiento del fluido ocurre sin ningún esfuerzo, a comparación de la convección forzada, el movimiento del fluido es turbulento y es desplazado en cierta dirección.

La velocidad del fluido en una convección natural, por lo general son menores a 1 m/s, por lo tanto, el coeficiente de transferencia de calor por convección natural suele ser mucho menor que el coeficiente de transferencia de calor por convección forzada. Por otra parte, en la convección natural, el número de Grashof, representa la razón entre la fuerza de flotación y la fuerza viscosa que actúan sobre el fluido y se expresa en la siguiente ecuación:

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)}{\nu^2} L^3 \quad \text{Ec. 2.14}$$

Donde:

g = Aceleración gravitacional, m/s²

β = Coeficiente de expansión volumétrica, 1/K ($\beta = 1/T$)

T_s = Temperatura de la superficie, °C

T_∞ = Temperatura del fluido, °C

L = Longitud característica de la configuración geométrica, m

ν^2 = Viscosidad cinemática del fluido, m²/s

El número de Nusselt en una convección natural, puede ser expresado por la siguiente ecuación:

$$Nu = \frac{hL}{k} = C(GrPr)^n = C(Ra)^n \quad \text{Ec. 2.15}$$

Donde Ra, es el número de Rayleigh el cual, es el producto de los números adimensionales entre Grashof (Gr) y Prandtl (Pr), el valor de n normalmente es 1/4 para un flujo laminar y 1/3 para un flujo turbulento y C , es una constante normalmente menor a 1. Otra forma de expresar el número de Rayleigh, es mediante la siguiente ecuación:

$$Ra = GrPr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)}{\nu^2} L^3 Pr \quad \text{Ec. 2.16}$$

Por tanto, para fines de cálculo las propiedades del fluido se evalúan a la temperatura de película siendo $T_f = 1/2(T_s - T_\infty)$.

Donde T_s y T_∞ , son las temperaturas de superficie del sólido y temperatura del fluido

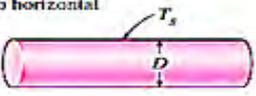
respectivamente. Por consiguiente, para determinar el coeficiente de transferencia de calor con convección natural se puede lograr con la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{conv} = hA(T_s - T_\infty) \quad (W) \quad \text{Ec. 2.17}$$

En la figura 10, se proporcionan las correlaciones del Nusselt para convección natural en diferentes cuerpos sólidos, de igual forma se muestran las longitudes características y los intervalos del número de Rayleigh.

Figura 10

Correlaciones para el número de Nusselt.

<p>Cilindro vertical</p> 	<p>L</p>		<p>Un cilindro vertical puede tratarse como una placa vertical cuando</p> $D \geq \frac{35L}{Gr^{1/4}}$
<p>Cilindro horizontal</p> 	<p>D</p>	<p>$Ra_D \leq 10^{12}$</p>	$Nu = \left\{ 0.6 + \frac{0.387Ra_D^{1/4}}{[1 + (0.559/Pr)^{1/4}]^{1/4}} \right\}^2$
<p>Esfere</p> 	<p>D</p>	<p>$Ra_D \leq 10^{11}$ ($Pr \geq 0.7$)</p>	$Nu = 2 + \frac{0.589Ra_D^{1/4}}{[1 + (0.469/Pr)^{1/4}]^{1/4}}$

Nota. Tomado de Transferencia de calor y masa (p. 511), por Y. A. Cengel, 2007, McGraw-Hill.

2.14.3 Flujo de calor por radiación

Durante una interacción por radiación, toda superficie pierde energía por emisión y la gana al absorber radiación de otro cuerpo caliente. La transferencia de calor por radiación desde una superficie i de área A_i se denota mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{rad} = \frac{E_{bi} - J_i}{R_i} \quad (W) \quad \text{Ec. 2.18}$$

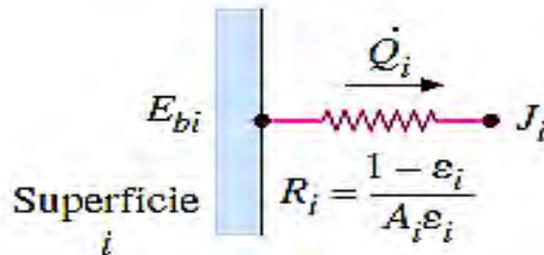
$$R_i = \frac{1 - \varepsilon_i}{A_i \varepsilon_i} \quad \text{Ec. 2.19}$$

Donde E_{bi} , es el poder de emisión de un cuerpo sólido, J_i es la radiosidad, R_i es la resistencia de la superficie a la radiación y ε_i es la emisividad del cuerpo radiante.

La razón neta de transferencia de calor por radiación, se puede comprender como una analogía eléctrica, el cual se ilustra en la figura 11.

Figura 11

Analogía de la resistencia superficial a la radiación.



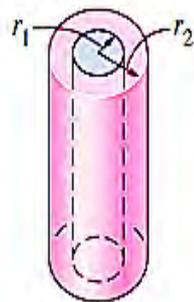
Nota. Tomado de Transferencia de calor y masa (p. 728), por Y. A. Cengel, 2007, McGraw-Hill.

En recintos cerrados, el flujo de calor por radiación puede ser determinado con las disposiciones conocidas denotadas en el anexo 4. En cuerpos cilíndricos, la ecuación del flujo de calor por radiación, puede ser determinado con la siguiente figura 12.

Figura 12

Razón de transferencia de calor para cuerpos cilíndricos.

Cilindros concéntricos infinitamente largos



$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{r_1}{r_2}$$

$$F_{12} = 1$$

$$\dot{Q}_{12} = \frac{A_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1 - \epsilon_2}{\epsilon_2} \left(\frac{r_1}{r_2}\right)}$$

Nota. Tomado de Transferencia de calor y masa (p. 732), por Y. A. Cengel, 2007, McGraw-Hill.

Finalmente, la radiación térmica al incidir en una superficie, específicamente a temperaturas elevadas, esta radiación, aceleran los electrones de dicha superficie, logrando captar cierta cantidad de energía y logrando incrementar su temperatura superficial.

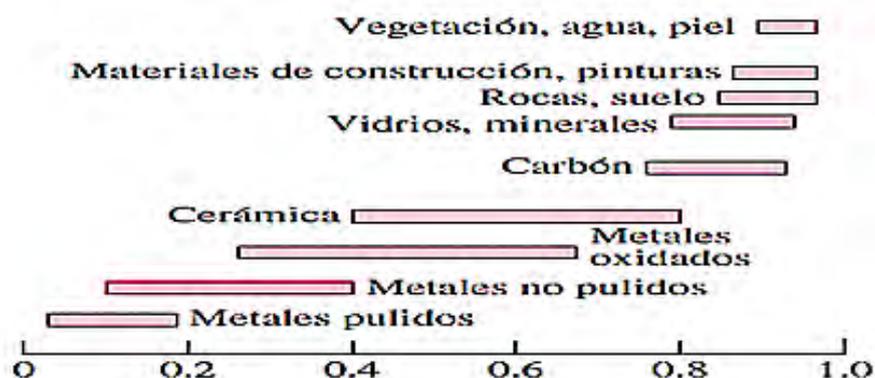
2.14.3.4 Emisividad

La emisividad (ϵ), es la capacidad del material para emitir radiación infrarroja, para cuerpos brillantes su emisividad es 0 y para cuerpos negros su emisividad es 1, es decir puede variar en un intervalo de $0 \leq \epsilon \leq 1$. Por otra parte, la emisividad varía con la temperatura de la superficie y su longitud de onda (Cengel, 2007, p. 680).

En la figura 13, se muestran los rangos típicos de emisividad de los diferentes materiales.

Figura 13

Rangos de emisividad.



Nota. Tomado de Transferencia de calor y masa (p. 683), por Y. A. Cengel, 2007, McGraw-Hill.

2.15 Razones para el empleo de aislantes térmicos

Los materiales aislantes térmicos, son empleados principalmente para ganar aún más energía que en términos de costos de producción, resulta ser beneficioso. Así mismo, otras razones por la que es necesario el empleo de aislantes térmicos son:

- a) Acelerar los procesos termodinámicos.
- b) Reducir la variación y fluctuaciones de temperatura.
- c) Proteger y dar la comodidad al personal operario.

Tal es el caso que, en algunos hornos de fundición, es necesario el empleo de estos materiales ofrecen ventajas importantes que optimizan los procesos y costos. Las propiedades que la determinan son la conductividad térmica y su resistencia térmica.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

3.1 Diseño

Normalmente, por diseño se conoce el arte de proyectar el aspecto, la función y la producción de un objeto funcional por medio de signos gráficos ya sea que se trate de un objeto bidimensional o tridimensional para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema. Dicho producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse.

El diseño es una actividad de intensa comunicación en la cual se usan tanto palabras como imágenes y se emplean las formas escritas y orales. Los ingenieros deben comunicarse en forma eficaz y trabajar con gente de muchas disciplinas. Éstas son habilidades importantes y el éxito de un ingeniero depende de ellas. (Budynas, 2018, p.5)

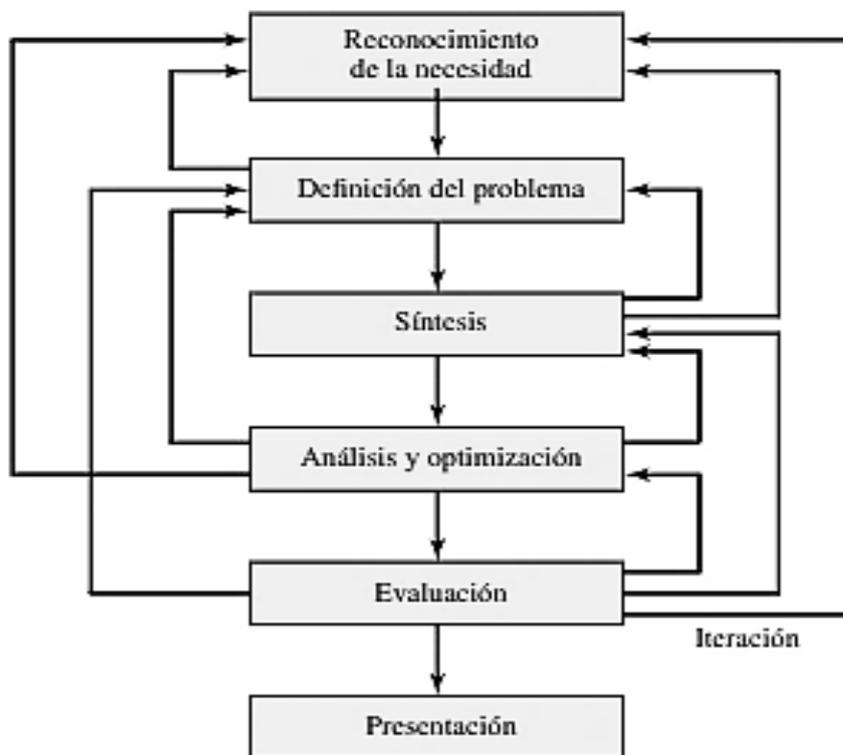
3.2 Fases e interacciones del proceso de diseño

El proceso completo, de principio a fin, se muestra en la figura 14, comienza con la identificación de una necesidad y la decisión de hacer algo al respecto. Después de muchas iteraciones, termina con la presentación de los planes para satisfacer la necesidad. De acuerdo con la naturaleza de la tarea de diseño, algunas fases de éste pueden repetirse durante la vida del producto, desde la concepción hasta la terminación.

La definición del problema es más específica y debe incluir todas las especificaciones del objeto que va a diseñarse. Las especificaciones son las cantidades de entrada y salida, las características y dimensiones del espacio que el objeto debe ocupar y todas las limitaciones sobre estas cantidades. Algunas veces, a la síntesis de un esquema que conecta elementos posibles del sistema se le llama invención del concepto o diseño del concepto. Éste es el primer y más importante paso en la tarea de la síntesis. Varios esquemas deben proponerse, investigarse y cuantificarse Reconocimiento de la necesidad Definición del problema Síntesis Análisis y optimización Evaluación Presentación Iteración.

Figura 14

Fases del proceso de diseño que reconocen múltiples retroalimentaciones e iteración



Nota. Tomado de Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (p. 6), por R. Budynas y J. Nisbett, 2008.

3.3 Diseño industrial

Dentro del contexto del diseño industrial, como tal es una actividad creativa que tiene como fin proyectar productos funcionales ya sean maquinarias o partes, herramientas y dispositivos electrónicos que dan soluciones, facilidades de producción y reducción de riesgos o peligros a la que está sometido el ser humano.

3.3.1 Etapas de diseño industrial

Las etapas del proceso de diseño industrial, a grandes rasgos y de manera general inician con el:

a) Diseño conceptual

En esta etapa, se conceptualiza el producto funcional que se pretende producir, denotando

las razones del porque es que debe diseñar tal producto, con qué objetivo, si es novedoso y si el producto tendrá impactos positivos en la solución del problema. Como se trata de un diseño industrial, existen herramientas de diseño que ayudan con el desarrollo del producto deseado, posibilitando corregir errores de diseño, permitiendo una calidad y precisión.

Tabla 28

Herramientas de diseño asistido por ordenadores.

Herramientas de diseño		
CAD	Computer aided desing	Diseño asistido por ordenador.
CAE	Computer aided engineer	Ingeniería asistida por ordenador.
CAM	Computer aided manufacturing	Fabricación asistida por ordenador.

Nota. Tomado de Guía Tecnopyme (p. 3), 2019, <https://www.bizkaia.eus>.

b) Diseño de detalle

En esta etapa de diseño, se concreta definitivamente el producto y subproductos, ya sea mediante los respectivos cálculos matemáticos, dimensionamientos de ingeniería, simulaciones y análisis de mercado, concluido con todo ello, se obtienen planos técnicos que permitirán la construcción del producto final.

En el diseño de detalle se contemplan los criterios para establecer las dimensiones y características que deben tener las piezas que se están diseñando, de las diferentes piezas de la máquina se analizara el eje por ser la pieza de mayor aplicación del diseño de detalle. (Budynas, 2018, p.6)

c) Producción

Etapa en la que se fabrica el producto empleando herramientas como diagramas de procesos productivos, metodologías de fabricación y las respectivas inspecciones.

3.4 Diseño del horno de crisol

El diseño del horno es una parte fundamental del proyecto, pues nos brindará un panorama de los requerimientos constructivos posteriores y parámetros de funcionamiento esperados. Implica, entonces, determinar dimensiones, establecer materiales, evaluar requerimientos energéticos y simular su funcionamiento.

3.4.1 Consideraciones de diseño

Al diseñar el horno de crisol, ciertas consideraciones deben tomarse en cuenta para que este pueda operar de manera óptima.

- Los hornos cilíndricos son más eficientes que los hornos cuadrados.
- El horno debe ser dimensionado acorde al crisol a emplear.
- El diámetro de la cámara interior debe ser entre 150 y 300 mm superior que el diámetro del crisol.
- Debe permitirse un espacio entre 25 y 50 mm entre el borde superior del crisol y la tapa.
- El orificio del quemador debe colocarse en el fondo del horno por debajo del crisol y debe ser tangente a la pared de éste.
- El elemento más crítico en el diseño y construcción de un horno de crisol es su recubrimiento refractario. Este permite calentamientos uniformes y baja tasa de pérdida de calor.

CAPÍTULO IV. DISEÑO DEL HORNO DE CRISOL BASCULANTE

4.1 Diseño conceptual

4.1.1 Título de la propuesta tecnológica

Diseño y construcción de un horno de crisol basculante para la fusión de aluminio para el laboratorio de fundición y moldeo de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica.

4.1.1.1 Alcances de la propuesta tecnológica

- Multipropósito: Eliminar los riesgos ergonómicos, medioambientales y contribuir para con el laboratorio de fundición y moldeo de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica – UNSAAC.
- Productivo: Fundir aluminio reciclado.

4.1.2 Propuesta de alternativas de solución

En función a los factores que determinan un horno de fusión, se tiene la tabla 29.

Tabla 29

Alternativas de solución

Factores	Horno de crisol basculante	Horno de inducción
Tipo de metal a fundir	Aluminio	Aluminio
Fuente de energía	Combustibles (S-L-G)	Energía eléctrica
Consumo energético	Alto	Bajo-Regular
Forma de colada	Directa/maneral	Tenazas/maneral
Tipo de maniobra	Manual/automática	Manual/automática
Rotación	360 °	Estático
Costo de mantenimiento	Medio	Alto
Impacto ergonómico	Bajo	Bajo
Eficiencia térmica	Buena	Excelente
Impacto ambiental	Alto/medio	Bajo
Costo de inversión	Medio	Alto

Nota: Elaboración propia.

4.1.2.1 Selección de alternativa de solución

Si bien, ambas alternativas de solución planteadas en la anterior tabla 29, son potenciales tanto multipropositivamente y productivamente, si bien, un producto sin tecnologías puede dar la solución a las problemáticas y sin comprometer los costos de producción, no obstante, si tales productos basados en tecnología y alta tecnología, no siempre producirán rentabilidad y más aún si el tamaño del proyecto es a escala pequeña. Una evaluación de los costos tanto de materiales, combinación de tecnologías, mano de obra calificada y empleo de productos tecnológicos, logren justificar si el producto a obtener es viable para su inversión. Es por ello que, de la tabla 30, el factor importante viene a ser el costo de inversión, siendo para horno de crisol basculante un costo de inversión medio y para el horno de inducción tiene un costo de inversión alto, por lo que se toma como alternativa de solución al horno de crisol basculante.

4.1.3 Características del horno de crisol basculante

Estas características representan las cualidades del horno de crisol basculante, se tiene:

Tabla 30

Características del horno de crisol basculante.

Características del horno de crisol basculante	
1. Metales a fundir.	Metales no ferrosos
2. Capacidad del crisol.	50 kg
3. Tipo de crisol.	Carburo de silicio
4. Temperatura máxima de operación.	(1400 – 1500) °C
5. Configuración interna del horno.	Ladrillo – Aislante térmico – Carcasa metálica
6. Tipo de quemador.	Automático
7. Tipo de combustible.	LP GAS
8. Localización.	Laboratorio de Fundición y moldeo de la E.P. de Ingeniería Metalúrgica

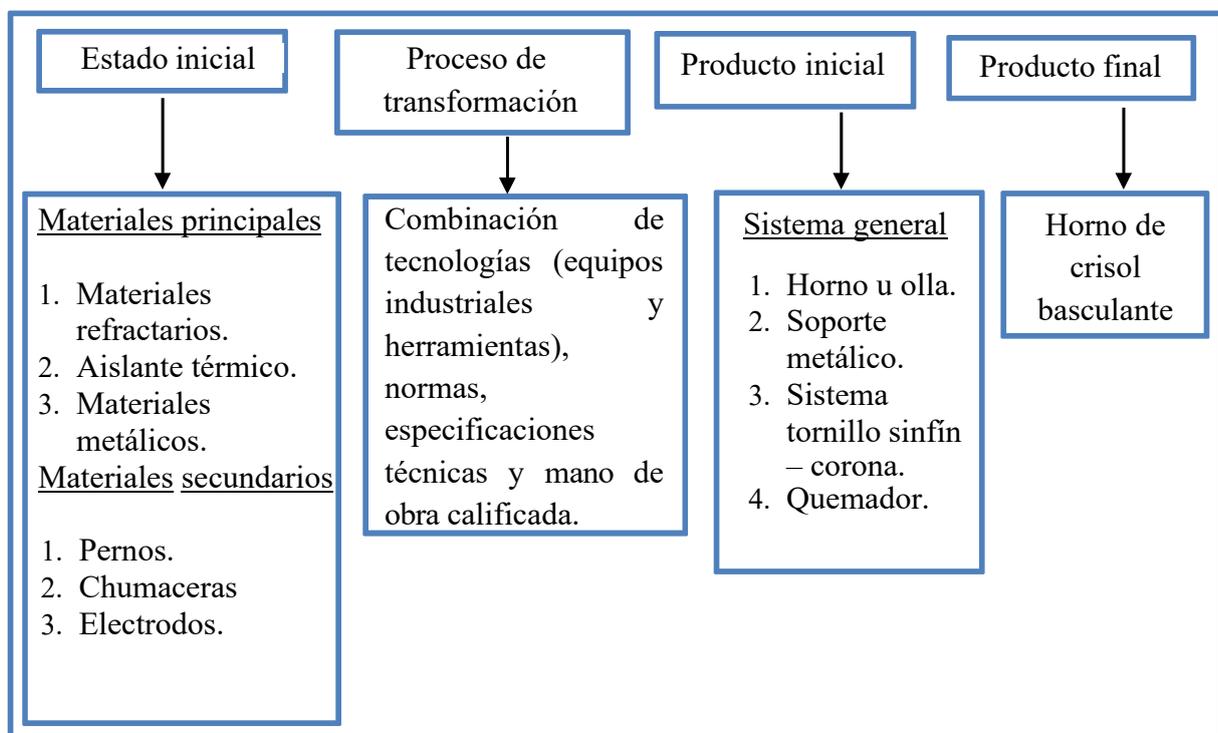
Nota: Elaboración propia.

4.1.4 Proceso productivo para el horno de crisol basculante

Viene a ser la forma en la que una serie de materiales han sido transformados para la obtención de un producto mediante la participación de determinadas tecnologías como herramientas. El tipo de proceso de producción para esta acción es un proceso de producción por proyecto, la figura 15 determina dicho proceso productivo.

Figura 15

Proceso productivo para el horno de crisol basculante.



Nota: Elaboración propia.

4.1.4.1 Diseño para el estado inicial del proceso productivo

Para la selección de los materiales primarios y secundarios, se hace una evaluación con mayor relevancia respecto a la disponibilidad compatibilidad con operaciones, propiedades específicas para la aplicación determinada y los respectivos costos.

a) Ladrillo refractario

Se evalúan los ladrillos refractarios en función a sus propiedades térmicas y costos.

Tabla 31*Factibilidades para los ladrillos refractarios.*

	Empleabilidad	Propiedades	Costo/u
Arcilla refractaria “Super duty”	<ul style="list-style-type: none"> • Versátiles/Ingeniería • Excelente calidad • H.F. y otros 	<ul style="list-style-type: none"> • 30% Al₂O₃ y 62% SiO₂ • K = 1.04 W/m °C • T_{mx} = 1300 °C 	s/ 4.00
Arcilla refractaria “High duty”	<ul style="list-style-type: none"> • Versátiles/Ingeniería • Alta calidad • H.F. y otros 	<ul style="list-style-type: none"> • 35% Al₂O₃ y 59% SiO₂ • K = 1.5 W/m °C • T_{mx} = 1000 °C 	s/ 3.50
Alta Alúmina 60 %	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería • Mejor desarrollados • Hornos de fundición 	<ul style="list-style-type: none"> • 60.2% Al₂O₃ y 35.9% SiO₂ • K = 0.47 W/m °C • T_{mx} = 1500 °C 	s/ 5.00

Nota: Tomado de fichas técnicas de ladrillos refractarios (p. 10), por Frisac, <https://www.frisac.pe>.

b) Hormigones refractarios

Tabla 32*Factibilidades para los hormigones refractarios.*

	Empleabilidad	Propiedades	Costo/u
Super mortero	<ul style="list-style-type: none"> • Uniones muy fuertes de ladrillos de alta alúmina • Herméticos 	<ul style="list-style-type: none"> • 38% Al₂O₃ y 56% SiO₂ • T_{mx} = 100 °C • K = 1.2 W/m °C 	s/ 50.00
Mortero alta alúmina super bond	<ul style="list-style-type: none"> • Uniones muy fuertes de ladrillos de alta alúmina • Herméticos 	<ul style="list-style-type: none"> • 60% Al₂O₃ y 44.5% SiO₂ • T_{mx} = 1450 °C • K = 1.1 W/m °C 	s/ 80.00
Castable alta alúmina standard	<ul style="list-style-type: none"> • Concreto refractario para recubrimientos • Herméticos 	<ul style="list-style-type: none"> • 50 % Al₂O₃ y 50% SiO₂ • T_{mx} = 1250 °C • K = 1.02 W/m °C 	s/ 100.00
Castable alta alumina super forte 60%	<ul style="list-style-type: none"> • Concreto refractario para recubrimientos • Herméticos 	<ul style="list-style-type: none"> • 60 % Al₂O₃ y 40% SiO₂ • T_{mx} = 1450 °C • K = 1.0 W/m °C 	s/ 150.00

Nota. Tomado de fichas técnicas de ladrillos refractarios (p. 12), por Frisac, <https://www.frisac.pe>.

Para la tabla 32, las propiedades de los hormigones refractarios tales como mortero y castable refractario fueron obtenidas de los anexos 7 y 8.

c) Aislante térmico

Del Anexo 9, se tiene la tabla 33, factibilidades para el aislante térmico a emplear.

Tabla 33

Factibilidades para el aislante térmico.

	Empleabilidad	Propiedades	Costo/m²
Manta cerámica	<ul style="list-style-type: none"> • Capa completa • H. pozo, cuchareo y basculante 	<ul style="list-style-type: none"> • 42 % Al₂O₃ y 52% Si O₂ • K = 0.16 W/m °C • T_{mx} = 1250 °C 	s/ 124.00
Manta fibra de vidrio	<ul style="list-style-type: none"> • 2da capa • H. pozo, cuchareo y basculante 	<ul style="list-style-type: none"> • 39 % Al₂O₃ y 55% SiO₂ • K = 0.049 W/m °C • T_{mx} = 1300 °C 	s/ 200.00
Manta lana de roca	<ul style="list-style-type: none"> • 2da capa • H. pozo, cuchareo y basculante 	<ul style="list-style-type: none"> • 52% Al₂O₃ y 42% Si O₂ • K = 0.030 W/m °C • T_{mx} = 1500 °C 	s/ 400.00

Nota: Tomado de fichas técnicas de ladrillos refractarios (p. 14), por Frisac, <https://www.frisac.pe>.

d) Materiales metálicos

En la siguiente tabla 34 se indican las propiedades de los diferentes materiales metálicos potenciales a emplear para la construcción de horno de crisol con respecto a su costo por unidad.

Tabla 34

Factibilidades para los materiales metálicos.

	Empleabilidad	Propiedades	Costo/u
Acero ASTM A500	<ul style="list-style-type: none"> • Buena resistencia mecánica ideal para estructuras metálicas como resistencia y tenacidad. • Buena soldabilidad. • Electrodo Supercito y tenacito. 	<ul style="list-style-type: none"> • 0.23-0.26 % C, 1.35 % Mn, 0.3 % Si, 0.03% P, 0.03% S y 0.2 Cu. • Punto de fluencia 269 MPa • Resistencia a la tracción 310 MPa • Cp = 500 J/Kg °K • K = 54 W/m °C 	s/ 300.00
Acero ASTM A36	<ul style="list-style-type: none"> • Acero grado ingeniería de buenas propiedades mecánicas como resistencia y tenacidad. • Buena soldabilidad. • Electrodo Tenacito y supercito. 	<ul style="list-style-type: none"> • 0.25-0.29 % C, 0.8-1.2 % Mn 0.4 % Si, 0.03% P, 0.03% S y 0.2 % Cu. • Punto de fluencia 235 MPa • Resistencia a la tracción 402 Mpa • Cp = 460 J/Kg °K • K = 52 W/m °C 	s/ 350.00
Acero Inox AISI 3010 (austenítico)	<ul style="list-style-type: none"> • Ultra resistentes a la corrosión a temperaturas elevadas. • Cubierta de hornos industriales. • Proceso TIG según AWS con varillas sólidas como Exatig 199 y exatig 2010. 	<ul style="list-style-type: none"> • Máx. Temp. de trab.: 1100 °C • 0.25 % C, 24-26 % Cr, 19-22 % Ni, 2 % Mn, 1.75 % Si 0.045 % P y 0.03% S. • Punto de fluencia 290 MPa • Resistencia a la tracción 621 MPa • Cp = 500 J/Kg °K • K = 13.8 W/m °C 	s/ 550.00

Nota. Tomado de fichas técnicas de ladrillos refractarios (p. 15), por Frisac, <https://www.frisac.pe>.

4.1.4.2 Diseño para el proceso de transformación del proceso productivo

Para la transformación de los materiales primarios en el producto requerido será necesario la combinación de tecnologías. Si bien, algunas de las mejores tecnologías en comparación con las convencionales, estas cumplen con los mismos objetivos, por lo que su empleabilidad depende de factores que serán detallados posteriormente.

a) Uniones de piezas metálicas por el proceso de soldadura.

- Arco eléctrico manual con electrodo revestido (SMAW).
- MIG - MAG (GMAW)
- TIG (GTAW)
- Laser
- Oxiacetilénica

A continuación, en la tabla 35, se presenta la tabla comparativa de tecnologías de soldadura para la unión de piezas metálicas, con respecto a los siguientes factores.

Tabla 35

Factibilidades de tecnologías de soldadura.

	SMAW	GMAU	GTAW	Laser	Oxiacetilénica
Factores					
Disponibilidad	Si	Si	Si	No	Si
Acabado	Bueno	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno	Regular
Costo	Accesible	Regular	Regular	Regular	Accesible

Nota. Elaboración propia.

b) Corte de piezas metálicas

- Corte con láser: Es la tecnología de corte sofisticada, ya que son controlados por un programa informático, logrando un corte de geometrías caprichosas y perfectas. Su inconveniencia radica en su disponibilidad y costo.
- Corte con plasma: Es una tecnología en el cual una antorcha de plasma, bombea oxígeno a altas velocidades y al mismo tiempo un arco eléctrico se transmite a través del gas, el plasma se calienta lo suficiente como para fundir el metal.
- Corte con chorro de agua: El principio de esta tecnología es corte es por erosión mediante el cual, el agua es forzada a fluir a elevadas presiones, formando un potente chorro de agua y que usualmente, se le añade al sistema partículas abrasivas que realizan el corte aún más rápido.

Tabla 36*Factibilidades de tecnologías de corte.*

	Laser	Corte por Plasma	Chorro de agua
Factores			
Disponibilidad	Si	Si	Si
Acabado	Muy bueno	Bueno	Muy bueno
Costo	No tan accesible	Accesible	No tan accesible

Nota.: Elaboración propia.

c) Rolado de piezas metálicas

Una roladora de planchas metálicas, es una tecnología disponible para formar tubos cilíndricos de diferentes diámetros. Este será necesario para formar la carcasa o chapa metálica, el cual protegerán los ladrillos refractarios y aislante térmico.

d) Mano de obra calificada

Se caracteriza por ser una labor específica y técnica, ya que, para la respectiva aplicación en construcción de un horno de crisol basculante, que consta en la unión de piezas metálicas por soldadura, será necesario la experticia de un soldador capacitado en la categoría 3G que domine la posición plana, vertical y horizontal. Así mismo, para el corte y rolado en partes metálicas, será necesario la mano de obra calificada que garantice las medidas exactas y su acabado.

4.1.4.3 Factibilidad resultante para el estado inicial y proceso de transformación

Estas factibilidades resultantes, son el resultado de las previas evaluaciones tanto para el estado inicial (materiales refractarios, aislante térmico y materiales metálicos) y para el proceso de transformación (combinación de tecnologías). Las siguientes dos tablas 37 y 38, muestran los resultados de las factibilidades evaluadas, consideras como factibilidades resultantes. En tanto, la tabla 37, muestra la factibilidad resultante para el proceso de transformación y la tabla 38, concierne a la factibilidad resultante para el estado inicial.

Tabla 37

Factibilidad resultante para el proceso de transformación.

Factores	SMAW	Corte por Plasma	Roladora
Disponibilidad	Si	Si	Si
Acabado	Bueno	Muy bueno	Muy bueno
Costo	Accesible	Accesible	Accesible

Nota: Elaboración propia.

Tabla 38*Factibilidad resultante para el estado inicial.*

	Empleabilidad	Propiedades
Ladrillo refractario (Alúmina 60 %)	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería. • Mejor desarrollados. • Hornos de fundición. 	<ul style="list-style-type: none"> • 60.2% Al₂O₃ y 35.9% SiO₂ • K = 0.47 W/m °C • T_{mx} = 1500 °C
Aislante térmico (Manta cerámica)	<ul style="list-style-type: none"> • Capa completa • H. pozo, cuchareo y basculante. 	<ul style="list-style-type: none"> • 42 % Al₂O₃ y 52% SiO₂ • K = 0.16 W/m °C • T_{mx} = 1250 °C
Acero ASTM (A500)	<ul style="list-style-type: none"> • Buena resistencia mecánica ideal para estructuras metálicas como resistencia y tenacidad. • Buena soldabilidad con electrodo SUPERCITO y TENACITO. 	<ul style="list-style-type: none"> • 0.23 – 0.26 % C, 0.45% Mn, 0.25% Si, 0.04% P y 0.05% S • Punto de fluencia 269 MPa • Resistencia a la tracción 310 MPa • Cp = 500 J/Kg °K • K = 54 W/m °C
Acero ASTM (A36)	<ul style="list-style-type: none"> • Acero grado ingeniería de buenas propiedades mecánicas • Buena soldabilidad con electrodo TENACITO y SUPERCITO. 	<ul style="list-style-type: none"> • 0.25 – 0.29 % C, 0.75%, Mn 0.2% Si, 0.04% P y 0.05% S • Punto de fluencia 235 MPa • Resistencia a la tracción 402 Mpa • Cp = 460 J/Kg °K • K = 52 W/m °C
Castable (alta alúmina standard 60%)	<ul style="list-style-type: none"> • Concreto refractario para recubrimientos de ladrillos de alta alúmina. • Herméticos. 	<ul style="list-style-type: none"> • 63 % Al₂O₃ y 29% SiO₂ • T_{mx} = 1450 °C • K = 1.02 W/m °C
Mortero (alta alúmina 60% super bond)	<ul style="list-style-type: none"> • Uniones muy fuertes • Herméticos. 	<ul style="list-style-type: none"> • 60% Al₂O₃ y 44.5% SiO₂ • T_{mx}=1450 °C • K= 1.1 W/m °C

Nota. Elaboración propia.

Cabe resaltar, que los materiales refractarios, aislante térmico y materiales metálicos del estado inicial y la combinación de tecnologías del proceso de transformación, conformaran el horno de crisol basculante a construir mediante el empleo de equipos industriales y herramientas. Una vez obtenidos resultados favorables, se procede con el diseño respectivo.

4.2 Diseño de detalle

4.2.1 Diseño térmico

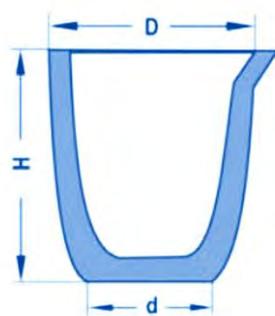
Con el diseño térmico, se determina la cantidad de calor requerido para fundir cierta cantidad de carga metálica y determinar la eficiencia térmica del horno de crisol. Para ello, se desarrolla un balance de energía y se emplean mecanismos de transferencia de calor.

4.2.1.1 Cámara de combustión

Para las dimensiones del hogar o cámara de combustión, se deben conocer las dimensiones del crisol refractario, anexo 10, siendo estas en la figura 16.

Figura 16

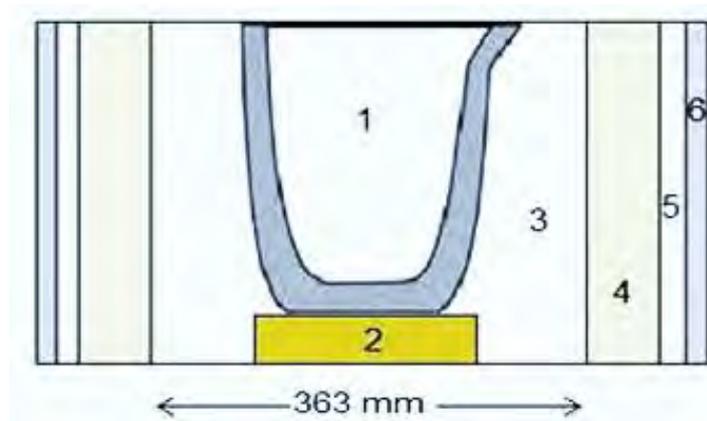
Dimensiones del crisol.



<p>Capacidad del crisol: 50 Kg D=270 mm; d=175 mm; H=330 mm</p>
--

Nota. Elaboración propia.

El asesoramiento por parte de la empresa Roatsa, fabricantes de crisoles refractarios, indican que el espacio promedio entre la cara externa del crisol y la cara interna del ladrillo refractario deber ser entre 7 a 8 cm, siendo la cámara de combustión.

Figura 17*Vista frontal del horno de crisol**Nota.* Elaboración propia.

Dónde:

1. Crisol
2. Base crisol
3. Cámara de combustión
4. Ladrillo refractario
5. Aislante térmico
6. Carcasa metálica

Para tal efecto, se ha considerado 7 cm, ya que el espacio de la cámara de combustión es directamente proporcional al consumo energético para su calentamiento. Por consiguiente, el diámetro promedio del crisol es 222.5 mm y el $\phi_{hogar} = 363$ mm.

4.2.1.2 Volumen de la cámara de combustión

El volumen de la cámara de combustión es el espacio vacío que será calentando y el espacio que contendrá al crisol para lograr los mecanismos de transferencia de calor.

$$V_{cc} = V_{hogar} - V_{crisol}$$

Dónde:

V_{cc} : Volumen de la cámara de combustión (m^3)

$\phi_{int.}$: Diámetro interior del horno

Datos:

$$\phi_{int.} = 363 \text{ mm}$$

$$h_{hogar} = 407 \text{ mm}$$

Volumen del crisol:

$$V_{crisol} = \frac{\pi * h (R^2 + r^2 + (R * r))}{3}$$

$$V_{crisol} = \frac{\pi * 330 (135^2 + 87.5^2 + (135 * 87.5))}{3}$$

$$V_{crisol} = 0.013 \text{ m}^3$$

Volumen del hogar:

$$V_{hogar} = \pi * r^2 * h$$

$$V_{int. \text{ del horno}} = \pi * 181.5^2 * 407$$

$$V_{hogar} = 0.042 \text{ m}^3$$

$$\therefore V_{cc} = V_{hogar} - V_{crisol}$$

$$V_{cc} = 0.042 \text{ m}^3 - 0.013 \text{ m}^3$$

$$V_{cc} = 0.029 \text{ m}^3$$

4.2.1.3 Configuración interna del horno u olla

La configuración interna del horno, está conformado por múltiples capas cilíndricas cada una de espesores determinados. Los espesores recomendados de los ladrillos refractarios con y sin aislación térmica, pueden ser tomados de la figura 17.

El espesor óptimo de los ladrillos refractarios es en función a las dimensiones del hogar, siendo de las siguientes medidas 9" x 4.5" x (2 1/2" - 2 1/8") o 230mm x 114mm x (64 -

54mm), en tanto el espesor del aislante térmico puede ser determinado por la misma gráfica.

- 1^{ra} Pendiente ($9'' + 4 \frac{1}{2}''$) o ($22.86 \text{ cm} + 11.43 \text{ cm}$)

La temperatura de la cara interior a 800°C (temperatura de colada del aluminio) corresponde una temperatura de la cara exterior más el aislante (fibra de cerámica), 93°C.

- 2^{da} Pendiente ($4 \frac{1}{2}'' + 4 \frac{1}{2}''$) o ($11.43 \text{ cm} + 11.43 \text{ cm}$)

La temperatura de la cara interior a 800°C (temperatura de colada del aluminio) corresponde una temperatura de la cara exterior más el aislante (fibra de cerámica), 100°C.

- 3^{ra} Pendiente ($4 \frac{1}{2}'' + 2 \frac{1}{2}''$) o ($11.43 \text{ cm} + 6.35 \text{ cm}$)

La temperatura de la cara interior a 800°C (temperatura de colada del aluminio) corresponde una temperatura de la cara exterior más el aislante (fibra de cerámica), 128°C.

- 7^{ma} Pendiente ($4 \frac{1}{2}''$) o (11.43 cm)

La temperatura de la cara interior a 800°C (temperatura de colada del aluminio) corresponde una temperatura de la cara exterior sin aislante, 263°C.

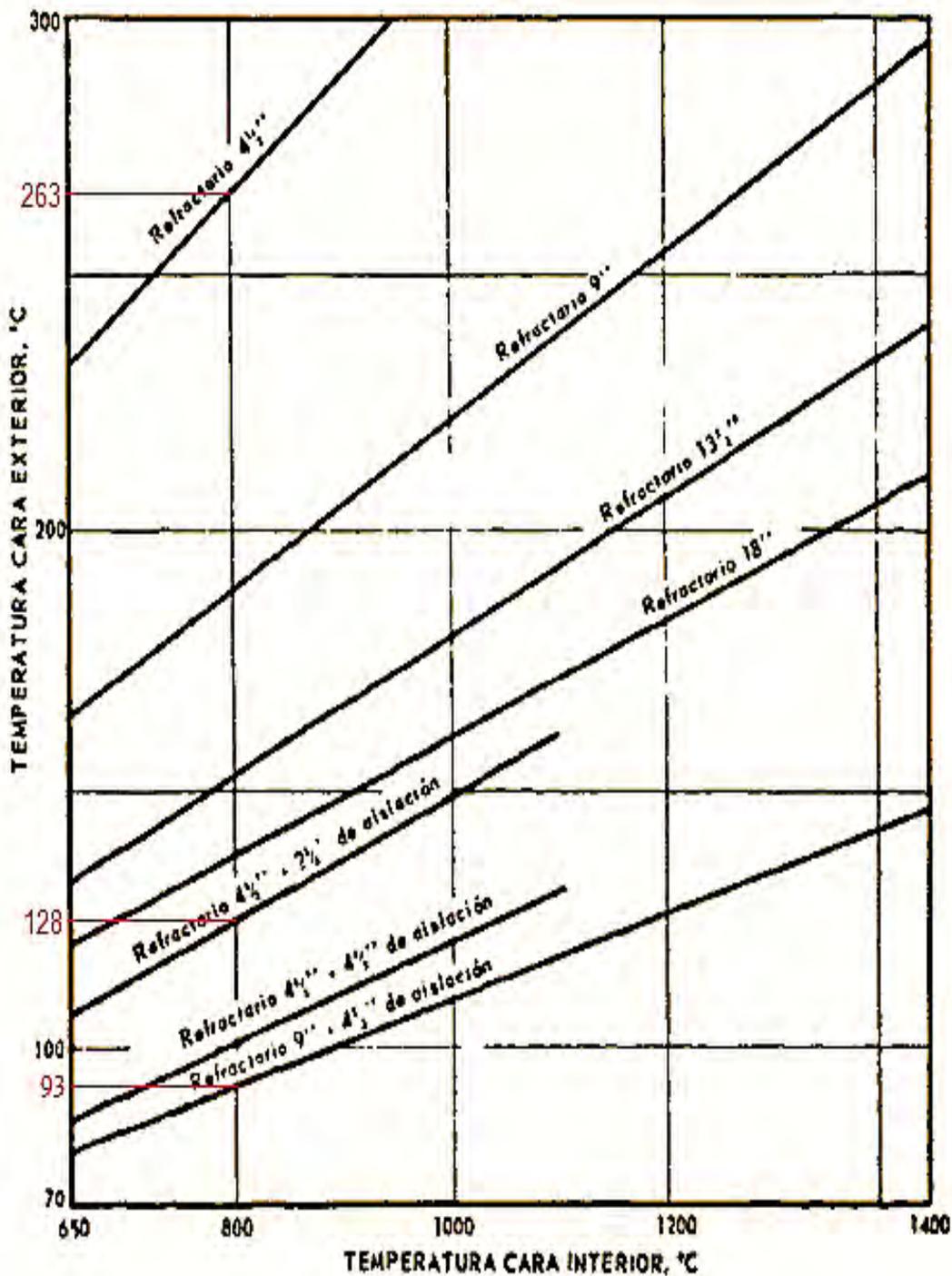
La figura 17, precisa los espesores de los ladrillos refractarios con y sin aislación térmica, permitiendo conocer las temperaturas internas y externas en las paredes de los refractarios (Lagos, 2018).

Así mismo, a mayor espesor de aislante térmico, menor flujo de calor a través de la misma, pero implica un incremento en los costos, dado que por cada metro cuadrado de aislante térmico impactará en los costos. En conclusión, la tercera pendiente de la gráfica anterior, se adapta más para la configuración geométrica del horno que se pretende construir, ya que proporciona datos de medidas del ladrillo refractario y espesor óptimo del aislante térmico.

En la figura 18 se muestran los espesores de las múltiples capas cilíndricas del horno de crisol.

Figura 18

Espesores de ladrillos refractarios con y sin aislación térmica.

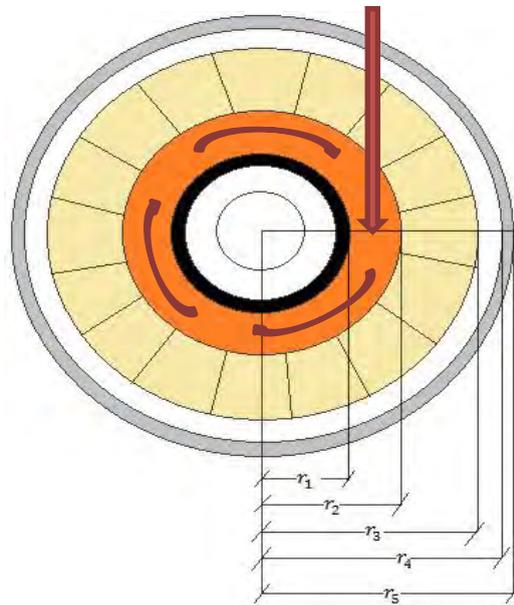


Nota: Tomado de Notas técnicas calidad de refractarios (p. 33), por Bertini, 2017, <http://>

Revista del Idiem.

Figura 19

Espesores de las múltiples capas del horno.



Nota: Elaboración propia.

Dónde:

$$r_1 = r_{\text{crisol}} = 111.25 \text{ mm} = 0.111 \text{ m} \quad \text{Si: } \phi_{\text{prom. crisol}} = \frac{270+175}{2} = 222.5 \text{ mm}$$

$$r_2 = 181.5 \text{ mm} = 0.181 \text{ m} \quad \text{Si: } \phi_{\text{hogar}} = 363 \text{ mm}$$

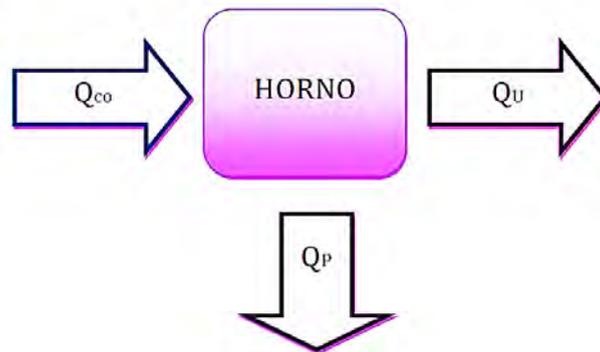
$$r_3 = 295.8 \text{ mm} = 0.295 \text{ m} \quad \text{Si: } \text{Ancho}_{\text{ladrillo}} = 114.3 \text{ mm}$$

$$r_4 = 359.3 \text{ mm} = 0.359 \text{ m} \quad \text{Si: } \text{Espesor}_{\text{aislante}} = 63.5 \text{ mm}$$

$$r_5 = 363.3 \text{ mm} = 0.363 \text{ m} \quad \text{Si: } \text{Espesor}_{\text{carcasa metálica}} = 4 \text{ mm}$$

4.2.1.4 Balance de energía

Si bien, el horno de crisol basculante para la fusión, requiere de una cierta cantidad de energía calorífica, el cual será suministrado por la combustión de un combustible. Por otra parte, las paredes internas del horno y el crisol refractario consumen cierta cantidad de calor que se denota como calor perdido, por lo que en la siguiente figura 20, se muestra el balance de energía.

Figura 20*Balance de energía en el horno.**Nota: Elaboración propia.*

Dónde:

 Q_{co} : Calor liberado por la combustión Q_P : Calor perdido durante el proceso Q_U : Calor requerido hasta la temperatura de colada

$$\therefore Q_{co} = Q_U + Q_P \quad (W)$$

4.2.1.4.1 Calor requerido

Para llevar a cabo tal cálculo, se determina la cantidad de la carga metálica a fundir (aluminio) y para este cálculo se consideró 50 kg de carga y la masa del crisol, 18 kg.

$$Q_U = Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

Dónde:

 Q_1 : Calor absorbido por el crisol o calor de calentamiento del crisol. Q_2 : Calor para elevar la temperatura desde los 18 °C hasta los 660 °C. Q_3 : Calor latente es el calor requerido para el cambio de fase del aluminio. Q_4 : Calor óptimo de fluidez del aluminio 800 °C.

Calculando:

$$Q_1 = m_{\text{crisol}} C_p \Delta T = 18 \text{kg} \times 1.29 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} \times (800^\circ\text{C} - 18^\circ\text{C})$$

$$Q_1 = 18\,158.04 \text{ KJ}$$

$$Q_2 = m_{\text{carga}} C_p \Delta T = 50 \text{kg} \times 0.896 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} \times (660^\circ\text{C} - 18^\circ\text{C})$$

$$Q_2 = 28\,761.6 \text{ KJ}$$

$$Q_3 = m_{\text{carga}} L_f = 50 \text{kg} \times 322 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_3 = 16\,100 \text{ kJ}$$

$$Q_4 = m_{\text{carga}} C_p \Delta T = 50 \text{kg} \times 1.269 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} \times (800^\circ\text{C} - 660^\circ\text{C})$$

$$Q_4 = 8\,883 \text{ kJ}$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 18158.04 \text{ KJ} + 28761.6 \text{ KJ} + 16100 \text{ kJ} + 8883 \text{ kJ}$$

$$Q_T = Q_U = 71\,902.64 \text{ KJ} / 3600 \text{ s} = 19\,972.95 \text{ W} = 19.97 \text{ kW}$$

4.2.1.4.2 Calor perdido

Es necesario realizar un nuevo balance de energía que permita determinar el calor perdido, con el objetivo de determinar la cantidad de calor absorbido por el crisol refractario y por las paredes o múltiples capas del horno u olla.

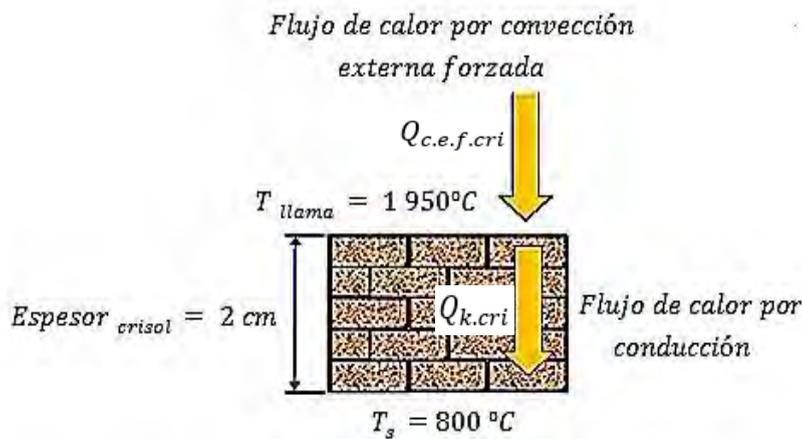
$$Q_{\text{perdido}} = Q_{\text{crisol}} + Q_{\text{múltiples paredes}}$$

4.2.1.4.2.1 Calor absorbido por el crisol

El crisol absorbe cierta cantidad de calor, que se puede denotar como pérdida del calor ya que no es aprovechado directamente por la carga metálica, por lo que, el calor por radiación será la energía que requiera la carga metálica para lograr su calentamiento y cambio de fase. A continuación, en la figura 21, se ilustra los mecanismos de transferencia de calor que ocurren en el crisol refractario.

Figura 21

Flujo de calor a través del crisol refractario.



Nota: Elaboración propia

Dónde:

$Q_{c.e.f.cri}$: Calor por convección externa forzada ($\frac{W}{m^2}$) y $Q_{k.cri}$: Calor por conducción ($\frac{W}{m^2}$)

a) Flujo de calor por convección externa forzada.

Las propiedades de la flama (aire + GLP), siendo su temperatura de combustión completa 1950°C . De igual forma se sabe que la temperatura en el interior del crisol es de 800°C .

Calculando la temperatura de película:

$$T_f = \frac{1950^{\circ}\text{C} + 800^{\circ}\text{C}}{2} = 1375^{\circ}\text{C}$$

$$- Pr = 0.7423$$

$$- \nu = 2.624 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$- k = 0.09166 \text{ w/m }^{\circ}\text{C}$$

Calculando el número de Reynolds:

$$Re = \frac{V_{prom.llama} D_{prom.del.crisol}}{\nu} ; D_{prom.del.crisol} = \frac{D+d}{2} = \frac{0.27 \text{ m} + 0.175 \text{ m}}{2} = 0.222 \text{ m}$$

$$; V_{prom.llama} = 30.5 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{V_{prom.llama} D_{prom.del\ crisol}}{\nu} = \frac{30.5\ m/s \times 0.222\ m}{2.624 \times 10^{-4} m^2/s}$$

$$Re = 25\ 804.11$$

De las correlaciones empíricas del número de Nusselt y convección forzada externa en cilindros.

$$400 \leq Re \leq 40\ 000$$

$$400 \leq Re = 25\ 804.11 \leq 40\ 000 \text{ (Régimen turbulento)}$$

Para este número de Reynolds equivale un número de Nusselt:

$$Nu = 0.193 Re^{0.618} Pr^{1/3}$$

Calculando el número de Nusselt

$$Nu = 0.193 Re^{0.618} Pr^{1/3} = 0.193 (25\ 804.11)^{0.618} (0.7423)^{1/3}$$

$$Nu = 93.07$$

$$\text{Si: } Nu = \frac{h D}{k} = h_{conv} = \frac{Nu\ k_{fluido}}{D_{prom.crisol}} = \frac{(93.07)(0.09166\ w/m\ ^\circ C)}{0.222\ m}$$

$$h_{conv} = 38.42\ w/m^2\ ^\circ C$$

$$Q_{c.f.e.cri} = h_{conv} A (t_s - t_\infty) = 38.42\ w/m^2\ ^\circ C (\pi \times 0.222\ m \times 0.33\ m)(800^\circ C - 1950^\circ C)$$

$$Q_{c.f.e.cri} = 10\ 170.70\ W$$

b) Flujo de calor por conducción.

$$Q_{k.cri} = \frac{T_s - T_\infty}{R_{crisol} + R_{conv 2}}$$

La resistencia térmica del crisol de grafito, depende también del espesor del crisol y de sus propiedades térmicas, si el radio exterior del crisol es 0.111 m y su radio interior 0.09 m siendo el espesor del crisol 2 cm. De igual modo, la altura del crisol más la base del crisol es 0.33 m y la conductividad térmica del crisol de carburo de silicio a 1950 °C es 10.4 w/m °C.

$$R_{crisol} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_{crisol} L} = \frac{\ln(0.111/0.091)}{2\pi(10.4 \text{ w/m}^\circ\text{C})(0.33\text{m})} = 9.21 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C/w}$$

$$R_{conv 2} = \frac{1}{h_{conv 2} 2\pi r_{crisol} L} = \frac{1}{(38.42 \text{ w/m}^2\text{ }^\circ\text{C})(2\pi \times 0.111\text{m} \times 0.33\text{m})} = 0.113 \text{ }^\circ\text{C/w}$$

$$\therefore Q_{k.cri} = \frac{800^\circ\text{C} - 1950^\circ\text{C}}{(9.21 \times 10^{-3} + 0.113)^\circ\text{C/w}}$$

$$Q_{k.cri} = 9\,410.03 \text{ W}$$

El calor total absorbido por el crisol:

$$Q_{abs.crisol} = Q_{c.e.f.cri} + Q_{k.cri}$$

$$Q_{abs.crisol} = 10\,170.70 \text{ W} + 9\,410.03 \text{ W}$$

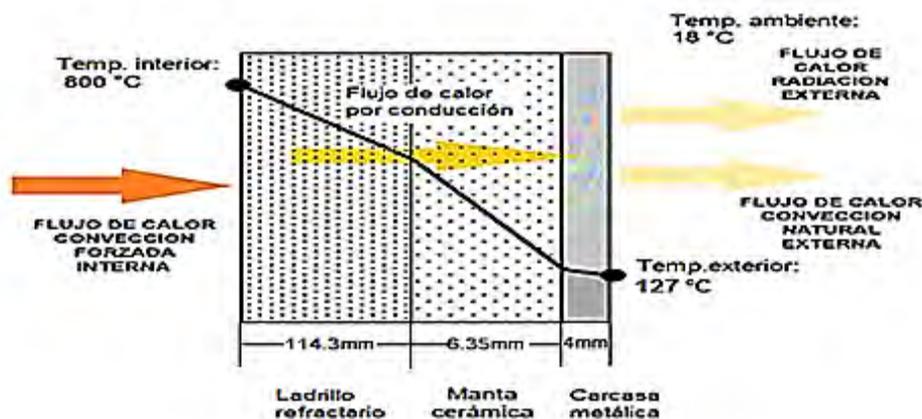
$$Q_{abs.crisol} = 19\,580.73 \text{ W}$$

4.2.1.4.2.2 Calor perdido a través de las múltiples capas

El flujo de calor a través de las múltiples capas cilíndricas, inicia con el flujo de calor por convección forzada interna en la pared del ladrillo refractario, el calor fluye por conducción, a través del ladrillo refractario de 114.3 mm de espesor, por la manta de fibra de cerámica de espesor 6.35 mm y por la coraza metálica de 4 mm de espesor, finalmente en la parte exterior del cuerpo del horno, hay flujo de calor por radiación y convección natural.

Figura 22

Mecanismos de transferencia de calor a través de las múltiples capas.



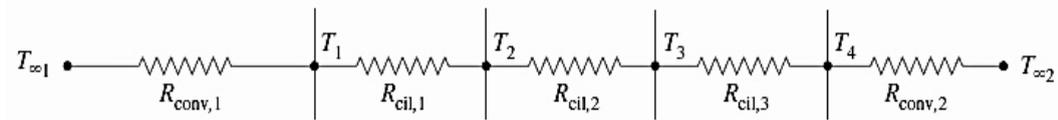
Nota: Elaboración propia.

a) Cálculo del flujo de calor por convección interna forzada.

Se determina la red de resistencias térmicas de las múltiples capas cilíndricas.

Figura 23

Red de resistencias térmicas en la transferencia de calor.



Nota: Elaboración propia.

Se conoce la temperatura de la flama que fluye en la cámara de combustión, siendo $1950\text{ }^{\circ}\text{C}$, por lo que se obtiene sus propiedades a temperatura de película:

$$T_f = \frac{1950^{\circ}\text{C} + 800^{\circ}\text{C}}{2} = 1375\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$- Pr = 0.7423$$

$$- \nu = 2.624 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$- k = 0.09166 \text{ w/m } ^{\circ}\text{C}$$

Calculando el número de Reynolds

$$Re = \frac{V_{prom.llama} D_{prom.del.crisol}}{\nu} \quad ; \quad D_{hogar} = 0.362 \text{ m}$$

$$; \quad V_{prom.llama} = 30.5 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{V_{prom.llama} D_{hogar}}{\nu} = \frac{30.5 \text{ m/s} \times 0.362 \text{ m}}{2.624 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 42\,076.98$$

De la ecuación de Gnielinski y bajo las siguientes condiciones:

$$3\,000 \leq Re \leq 5\,000\,000$$

$$3\,000 \leq Re = 42\,076.98 \leq 5\,000\,000 \text{ (Régimen turbulento)}$$

$$0.5 \leq Pr = 0.7423 \leq 2\,000 \text{ (Número de Prandtl)}$$

Para este número de Reynolds equivale un número de Nusselt:

$$Nu = \frac{(f/8)(Re - 1000)Pr}{1 + 12.7(f/8)^{0.5}(Pr^{2/3} - 1)}$$

Para determinar el factor de fricción " f " se recurre al diagrama de Moody, si la aspereza del ladrillo refractario " ε " es 9 mm y el diámetro del hogar es ($D_{hogar} = 0.362 \text{ m}$) o (363 mm).

Determinando la aspereza relativa:

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{9 \text{ mm}}{363 \text{ mm}} = 0.024$$

∴ A dicha aspereza relativa de 0.024, le corresponde un " $f = 0.048$ " (factor de fricción), dato obtenido mediante el diagrama de Moody. Calculando el número de Nusselt:

$$Nu = \frac{(f/8)(Re - 1000)}{1 + 12.7(f/8)^{0.5}(Pr^{2/3} - 1)} Pr = \frac{(0.048/8)(42076.98 - 1000)}{1 + 12.7(0.048/8)^{0.5}(0.7423^{2/3} - 1)} (0.7423)$$

$$Nu = 222.56$$

$$\text{Si: } Nu = \frac{hD}{k} = h_{conv} = \frac{Nu \cdot k_{fluido}}{D_{hogar}} = \frac{(222.56)(0.09166 \text{ w/m}^\circ\text{C})}{0.362 \text{ m}}$$

$$h_{conv} = 56.35 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$Q_{c.f.i.prf} = h_{conv} A_{hogar} (t_s - t_\infty)$$

$$Q_{c.f.i.prf} = 56.35 \text{ w/m}^2\text{°C} (\pi \times 0.363 \text{ m} \times 0.407 \text{ m}) (800^\circ\text{C} - 1950^\circ\text{C})$$

$$Q_{c.f.i.prf} = 30077.56 \text{ W}$$

b) Cálculo del flujo de calor por conducción

$$Q_k = \frac{(T1 - T4)}{R_t} = \frac{(T1 - T4)}{\frac{\ln(r3/r2)}{2\pi K_{Ladrillo} h_{cc}} + \frac{\ln(r4/r3)}{2\pi K_{aislante} h_{cc}} + \frac{\ln(r5/r4)}{2\pi K_{metal} h_{cc}}}$$

$$Q_k = \frac{(800^\circ\text{C} - 127^\circ\text{C})}{\frac{\ln(0.295 \text{ m}/0.181 \text{ m})}{2\pi(0.47 \text{ w/m}^\circ\text{C})(0.407 \text{ m})} + \frac{\ln(0.302 \text{ m}/0.295 \text{ m})}{2\pi(0.16 \text{ w/m}^\circ\text{C})(0.407 \text{ m})} + \frac{\ln(0.306 \text{ m}/0.302 \text{ m})}{2\pi(54 \text{ w/m}^\circ\text{C})(0.407 \text{ m})}}$$

$$Q_k = 3638.03 \text{ W}$$

c) Cálculo del flujo de calor por convección natural, si $D_{\text{horno}} = 0.726 \text{ m}$

$$Q_{c.n.} = h_{conv} A (T_s - T_{\infty})$$

Propiedades del aire a la temperatura de película:

$$T_f = \frac{T_4 + T_{\infty}}{2} = \frac{127^{\circ}\text{C} + 18^{\circ}\text{C}}{2} = 73^{\circ}\text{C}$$

Propiedades del aire a 73°C :

$$- Pr = 0.7169$$

$$- \nu = 2.025 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$- k = 0.029 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$$

Calculando el número de Rayleigh, si $\beta = 1/T_f = 1/(73 + 273) = 1/346 \text{ K}$

$$Ra = \frac{g \beta (T_s - T_{\infty}) D^3}{\nu^2} Pr = \frac{(9.81 \text{ m/s}^2) \left(\frac{1}{346 \text{ K}}\right) (127^{\circ}\text{C} - 18^{\circ}\text{C}) (0.726 \text{ m})^3}{(2.025 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})^2} (0.7169)$$

$$Ra = 1.23 \times 10^9$$

Calculando el número de Nusselt

$$Nu = \left(0.6 + \frac{0.387 Ra^{1/6}}{(1 + (0.559/Pr)^{9/16})^{8/27}}\right)^2$$

$$Nu = \left(0.6 + \frac{0.387 (19.5 \times 10^7)^{1/6}}{(1 + (0.559/0.7111)^{9/16})^{8/27}}\right)^2$$

$$Nu = 124.45$$

$$h_{conv} = \frac{k Nu}{D_{\text{horno}}} = \frac{(0.029 \text{ W/m}^{\circ}\text{C})(124.45)}{0.612 \text{ m}}$$

$$h_{conv} = 5.89 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$Q_{c.n.} = h_{conv} A_{\text{horno}} (T_s - T_{\infty})$$

$$Q_{c.n.} = (5.89 \text{ W/m}^2\text{C})(\pi \times 0.726 \text{ m} \times 0.407 \text{ m})(127^{\circ}\text{C} - 18^{\circ}\text{C})$$

$$Q_{c.n.} = 502.10 \text{ W}$$

d) Cálculo del flujo de calor por radiación

$$Q_{rad.} = \varepsilon_{acero} \sigma A_{horno} (T_s^4 - T_{\infty}^4)$$

$$Q_{rad.} = (0.05) (5.670 \times 10^{-8}) (\pi \times 0.726 \text{ m} \times 0.407 \text{ m}) (127^4 - 18^4)$$

$$Q_{rad.} = 0.57 \text{ W}$$

$$\therefore Q_{perd.mul.cap.cil.} = 3\,638.03 \text{ W} + 502.10 \text{ W} + 0.57 \text{ W}$$

$$Q_{perd.mul.cap.cil.} = 4\,140.7 \text{ W}$$

Se realiza el sumatorio total del calor perdido:

$$Q_{perdido} = Q_{crisol} + Q_{multiples\ capas}$$

$$Q_{perdido} = 19\,580.73 \text{ W} + 4\,140.7 \text{ W}$$

$$Q_{perdido} = 23\,721.43 \text{ W}$$

Finalmente, del balance de energía inicial se tiene:

$$Q_{co} = Q_U + Q_P$$

Dónde:

Q_{co} : Calor liberado por la combustión

Q_P : Calor perdido durante el proceso

Q_U : Calor requerido hasta la temperatura de colada

$$Q_{co} = 19\,972.95 \text{ W} + 23\,721.43 \text{ W}$$

$$Q_{co} = 43\,694.38 \text{ W}$$

Este valor, representa la cantidad de calor requerido por la combustión para lograr la fusión completa hasta la temperatura de fluidez 800°C.

4.2.1.5 Eficiencia térmica

La energía que se desea obtener del horno de fusión (trabajo realizado) y la energía consumida (perdida) durante su funcionamiento.

$$\eta \% = \frac{Q_u}{Q_{co}} \times 100\%$$

Donde:

η % : Eficiencia térmica del horno

Q_u : Calor requerido hasta la temperatura de fluidez

Q_{co} : Calor liberado por el combustible

$$\eta \% = \frac{19\,972.95\,W}{43\,643.38\,W} \times 100\%$$

$$\eta \% = 80.29\%$$

4.2.1.6 Gasto de combustible

El gasto del combustible (\dot{m}_c), se basa en la cantidad de calor liberado por la combustión (Q_{co}) y el poder calorífico del combustible (PC) GLP.

$$\dot{m}_c = \frac{Q_{co}}{PC}$$

Datos:

$$Q_{co} = 43\,643.38\,W$$

$$PC_{GLP} = 11\,739\,Kcal/Kg = 49\,148.84\,KJ/kg$$

$$PC_{GLP} = 6\,595\,Kcal/lit = 27\,611.94\,KJ/lit$$

$$PC_{GLP} = 22\,244\,Kcal/m^3 = 93\,131.17\,KJ/m^3$$

$$\therefore \dot{m}_c = \frac{Q_{co}}{PC} = \frac{43\,643.38\,W}{49\,148.84\,KJ/kg} = \frac{24\,874.32\,J/s\,(3600\,s/h)}{49\,148.84\,KJ/kg}$$

$$\dot{m}_c = 8.82\,kg/h$$

4.2.1.7 Volumen de combustible requerido

Para determinar el volumen del combustible, se requiere conocer la densidad del combustible GLP, que viene a ser $\rho = 560\,kg/m^3$.

$$\rho = \frac{\dot{m}_c}{V}$$

$$V = \frac{\dot{m}_c}{\rho} = \frac{1.82 \text{ kg/h}}{560 \text{ kg/m}^3}$$

$$V = 3.25 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h} = 154.16 \text{ cm}^3/\text{min}$$

4.2.1.8 Selección del quemador

La temperatura máxima de operación del horno del horno de crisol basculante es 1500 °C, la cantidad de calor requerido hasta la temperatura de fluidez es 24.87 KW.

Por consiguiente, el quemador a seleccionar debe cumplir las funciones de una mezcla óptima entre combustible y comburente y generar una combustión calculada y controlada. El quemador disponible acorde a los requerimientos tanto como finalidad de trabajo destinado (operaciones de fusión) y la cantidad de calor calculado para lograr la fusión de 50 kg de aluminio y otros metales no ferrosos. Con las garantías del caso y previas especificaciones, se adquirió de la empresa importadora de quemadores automáticos (ASLER & CIA), siendo un quemador disponible para GN (gas natural) GLP (gas licuado de petróleo), siendo el modelo HSG 400 de encendido automático, con un rango de potencia mínima de 200000 BTU/Hr (58.61 KW) hasta 400000 BTU/Hr (117.23 kW) de potencia máxima.

4.2.2 *Diseño mecánico*

4.2.2.1 Masa total del horno

El conjunto de masas por la que está conformado el horno u olla, generan un peso o fuerza, en la tabla 39 se detallan las respectivas masas de cada elemento, ya que en global generan una fuerza que actúa directamente sobre un bastidor; y este tiene la función de soportar dicha masa total del horno u olla.

A continuación, se determinan las masas de cada elemento del horno u olla.

Tabla 39*Masa total del horno.*

Cuerpo del horno	Tapa del horno	Masa (kg)	Masa (kg)
Crisol		18	
Carga metálica (aluminio)		50	
Ladrillo refractario tipo arco		56 x 800 gr = 44	
Aislante térmico	Aislante térmico	2	1
Carcasa metálica	Carcasa metálica	12	8
Concreto refractario	Concreto refractario	15	10
Mortero refractario	Mortero refractario	20	5
Ladrillo refractario tipo rectangular	Ladrillo refractario tipo rectangular	10	5
Base crisol		2	
		Total = 153	Total = 29
		Masa total = 182 Kg	

Nota: Elaboración propia.

Como el peso es una fuerza, en el Sistema Internacional se expresa en Newtons (N), el peso es la fuerza con la que la gravedad de la tierra (9.81 m/s^2) atrae a la masa. Siendo la masa total del horno (182 kg), en términos de fuerza viene a ser el producto de la masa total del horno por la gravedad. Por lo tanto ($182 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2$) genera una fuerza 1785.42 N .

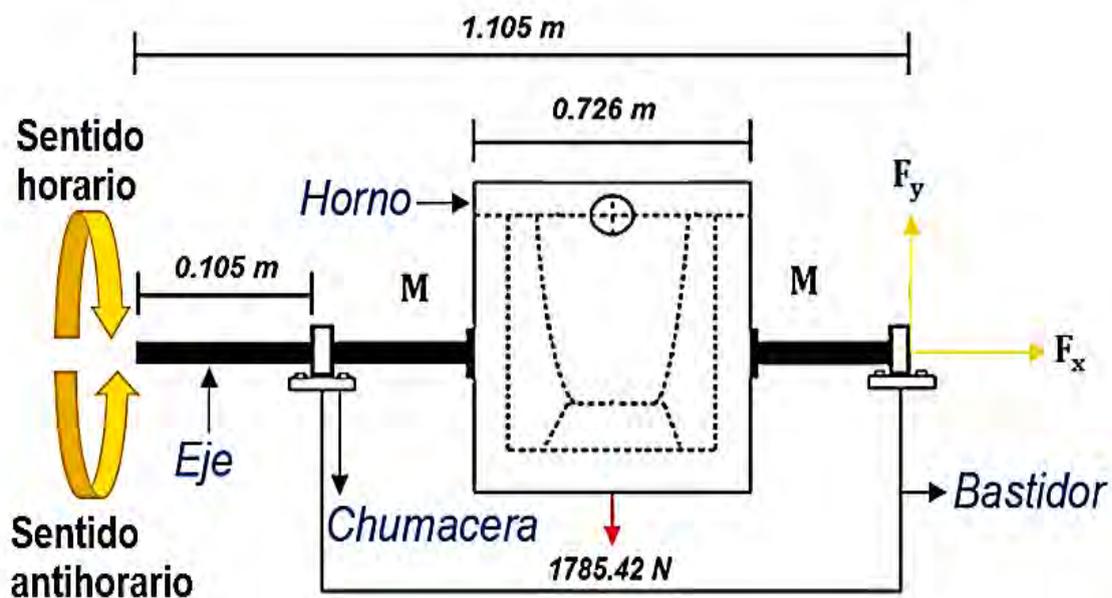
Si bien los tipos de fuerzas se dividen en fuerzas de superficie o de contacto y fuerzas de cuerpo, siendo las fuerzas de superficie, son fuerzas causadas por el contacto directo en un

cuerpo con la superficie de otro (Hibbeler, 2011), por lo tanto, el tipo fuerza que genera el peso del horno sobre el bastidor, viene a ser una fuerza de cuerpo, ya que la fuerza del horno actúa sobre todos los elementos del bastidor unidos por soldadura y están distribuidos por todo el bastidor.

El horno u olla, está unida de cada lado por un eje, tal como se muestra en la figura 24, en esta unión, se generan fuerzas en dirección al eje X , Y y Z que posteriormente serán analizados.

Figura 24

Fuerzas de superficie que ejerce el horno.



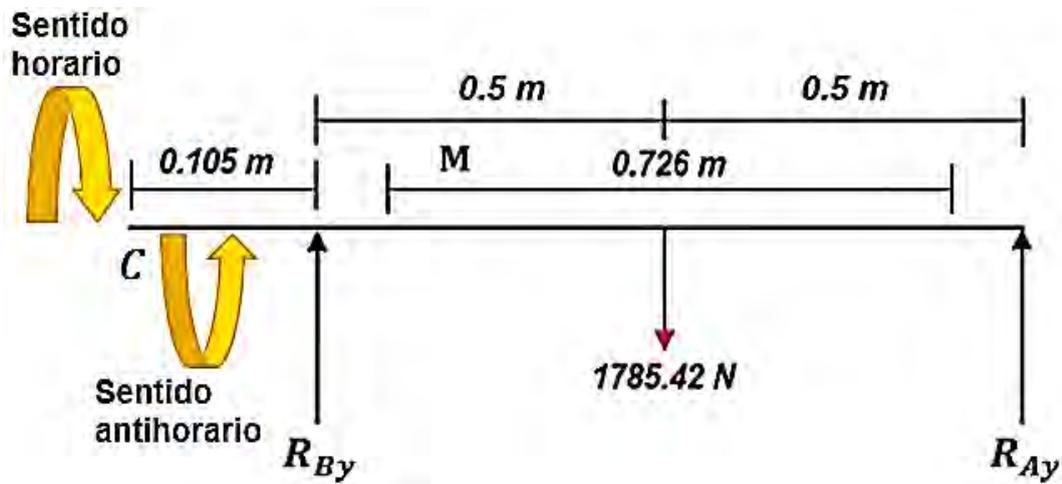
Nota: Elaboración propia.

4.2.2.2 Diagrama de cuerpo libre de fuerzas en el bastidor.

En la siguiente figura 25 de diagrama de cuerpo libre, se analizan las reacciones generadas por la fuerza de cuerpo del horno u olla, ya que actúan principalmente de manera distribuida en dirección al eje Y en los puntos A_y y B_y , y con respecto al eje X , pues no existe fuerza alguna.

Figura 25

Diagrama de cuerpo libre de fuerzas en el bastidor.



Nota: Elaboración propia

Por consiguiente, la fuerza o carga originada por el horno es:

$$W = 1785.42 \text{ N}$$

La sumatoria de fuerzas con respecto al eje X:

$$\sum F_x = 0$$

Sumatoria de fuerzas respecto al eje Y:

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{By} - 1785.42 \text{ N} + R_{Ay} = 0$$

$$R_{By} + R_{Ay} = 1785.42 \text{ N}$$

Sumatoria de momento respecto al punto B:

$$\sum M_B = 0$$

Si: $M = Fx d$

$$-1785.42 \text{ N} (0.5 \text{ m}) + R_{Ay} (1 \text{ m}) = 0$$

$$-1785.42 \text{ N} (0.5 \text{ m}) = -R_{Ay} (1 \text{ m})$$

$$R_{Ay} = 892.71 \text{ N}$$

$$\text{Si: } R_{By} + R_{Ay} = 1785.42 \text{ N}$$

∴ Reemplazando R_{By} en la ecuación anterior, se tiene que:

$$R_{By} = 892.71 \text{ N}$$

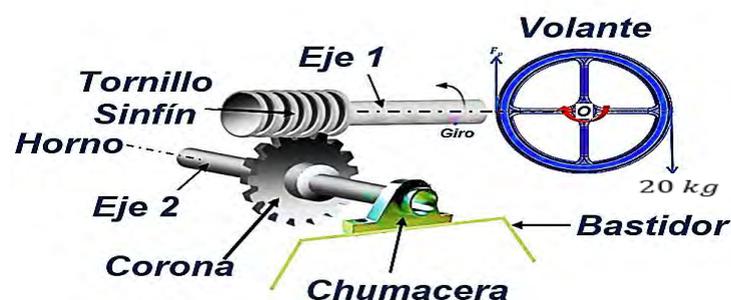
4.2.2.3 Diseño de tornillo sinfín y eje

Habiendo determinado las reacciones R_{By} y R_{Ay} se procede a determinar los esfuerzos, que vienen a ser la intensidad de las fuerzas sobre un área específica. Si bien, el horno de crisol basculante está unido de cada lado por un eje por lo que, la intensidad de la fuerza que ejerce el peso del horno genera sobre dicho eje, esfuerzos normales (σ) y esfuerzos cortantes (τ). Los esfuerzos normales sobre el eje, generan cargas axiales y momento flector, en tanto los esfuerzos cortantes sobre el eje, generan cargas transversales y momento o torque. Por consiguiente, la fuerza que ejerce el peso del horno sobre las uniones fijas o ejes generan cargas flectoras, en tanto, para la rotación del horno o efecto basculante, se generan cargas por corte y torsión directamente hacia las uniones entre eje y horno.

Inicialmente, para determinar las cargas en las uniones fijas por flexión, corte y torsión, en principio, en la siguiente figura 26 se ilustra al tornillo sinfín; en tanto si aplicamos 20 kg de masa al volante, esto con el objetivo de generar el efecto de giro del horno.

Figura 26

Tornillo sinfín



Nota: Elaboración propia.

Por cada 1 kg de masa se produce una fuerza de 9.81 N, en tanto si se aplica 20 kg de masa

al volante, se producirá:

$$F_p = m_p \times g$$

$$F_p = 20Kg \times 9.81m/s^2$$

$$F_p = 196.2 N$$

En tanto, el volante tiene un diámetro de $\emptyset = 30 \text{ cm}$, por lo que al aplicar dicha fuerza F_p se genera la rotación del eje 1 y por consiguiente se genera el giro de la corona.

La fuerza aplicada respecto al centroide del volante o punto (O), es:

$$T_o = F_p \times \emptyset/2 = 30 \text{ cm}/2$$

$$T_o = 196.2 N \times 0.15 m$$

$$T_o = 29.43 N.m$$

En la figura 27, se muestran las fuerzas que actúan en el sistema de transmisión tornillo sinfín - corona, donde F_a son fuerzas axiales, F_t es la fuerza tangencial, F_r es la fuerza radial, T_1 es el momento torsor en el eje 1 o tornillo sinfín y T_2 es el momento torsor generado en el eje 2.

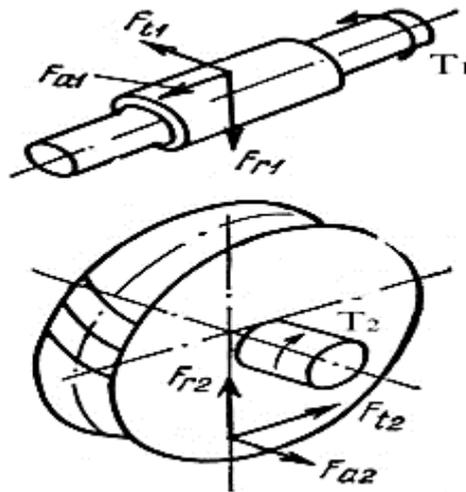
Por lo tanto, la fuerza tangencial en el tornillo sinfín F_{t1} es numéricamente igual a la fuerza axial en la corona F_{a2} , la fuerza tangencial en la corona F_{t2} es numéricamente igual a la fuerza axial en el tornillo sinfín F_{a1} , de igual forma, la fuerza radial en el tornillo sinfín F_{r1} es numéricamente igual a la fuerza radial en la corona F_{r2} .

La fuerza tangencial F_t se puede expresar en la siguiente ecuación (Mott, 2006) Así mismo en el anexo 12 se muestra la nomenclatura del tornillo sinfín - corona.

$$F_t = F_a = \frac{2T}{D}$$

Figura 27

Fuerzas en el tornillo sinfín – corona



Nota: Tomado de Diseño de elementos de máquinas (p. 660), por R. L. Mott, Pearson Educación

Si $T_0 = T_1$ por consiguiente, en la ecuación de la fuerza tangencial para el tornillo sinfín se tiene:

$$F_{t1} = F_{a2} = \frac{2T_1}{D_1}$$

Donde:

T_1 : Torque en el tornillo sinfín.

D_1 : Diámetro del tornillo sinfín.

Así mismo se tiene la siguiente ecuación de distancia entre centros:

$$D_2 = 2C - D_1$$

$$D_1 = 0.681 C^{0.875}$$

Donde:

D_1 y D_2 : Diámetros de tornillo sinfín y corona, respectivamente.

C : Distancia entre centros.

Por consiguiente, del anexo 13 diámetros recomendados para manufactura de coronas y

sinfín (Norton, 2011) se determinaron:

- Diámetro de la corona: $D_2 = 14.5 \text{ cm}$
- Número de dientes de la corona: $Z_2 = 35$
- Número de dientes del tornillo sinfín: $Z_1 = 1$

La relación de número de dientes entre tornillo sinfín y corona es de (35:1), del anexo 14 distancia entre centros y en su ecuación, se tiene:

$$D_1 = 0.681 (380 \text{ mm})^{0.875} = 26 \text{ mm}$$

La fuerza tangencial en la corona:

$$F_{t2} = F_{a1} = \frac{2T_1}{D_2} = \frac{2 T_1 n}{D_2}$$

Donde: $n = 35/1$

Reemplazando en la ecuación de fuerza tangencial de la corona:

$$F_{t2} = F_{a1} = \frac{2T_1}{D_2} = \frac{2 T_1 n}{D_2}$$

$$F_{t2} = \frac{2(29.43 \text{ N.m})(35/1)}{(0.145 \text{ m})}$$

$$F_{t2} = 14 \ 207.58 \text{ N}$$

Así mismo el torque en la corona es:

$$F_{t2} = F_{a2} = \frac{T_2}{D_2}$$

$$T_2 = F_{t2} D_2$$

$$T_2 = 14 \ 207.58 \text{ N} \times 0.145 \text{ m}$$

$$T_2 = 2 \ 060.09 \text{ N.m} \quad (\text{Fuerza que genera la rotación del horno})$$

Para concluir con el diseño del tornillo sinfín - corona, se empleó el software “Calculador de tornillo sinfín y corona métricos”, el cual nos proporciona las dimensiones del tornillo sinfín

como corona, tal como indica en la tabla 40.

Tabla 40

Dimensiones del tornillo sinfin - corona.

ELEMENTO	FÓRMULA	VALOR			
Módulo (M) =	M	4.00 mm.	Módulo (M):		
Número de Dientes (N) =	N	35 dientes	4		
Entradas del Tornillo Sin Fin (n) =	n	1 entrada(s)	Número de Dientes (N):		
TORNILLO SIN FIN			35		
paso (p) =	$\pi \cdot M$	12.57 mm.	Entradas del tornillo sin fin: (n)		
Altura del Filete (h) =	$2,167 \cdot M$	8.67 mm.	1		
diámetro primitivo (dp) =	selección * M	32.0 mm.	diámetro primitivo del Tornillo Sin Fin: (dp)		
diámetro exterior (de) =	$dp + (2 \cdot M)$	40.0 mm.	8 veces el Módulo		
diámetro interior (di) =	$de - (2 \cdot h)$	22.66 mm.	Ángulo Beta del Tornillo Sin Fin: (β)		
Ángulo del filete (α) =	$\text{arcTg} (M/n) \cdot dp$	7° 7' 30.06"	Filete normal β = 14° 30'		
espesor del filete (e) =	$p/2$	6.28 mm.	CORONA		
espacio entre dientes (c) =	$p/2$	6.28 mm.	Diámetro Primitivo (DP) =	$M \cdot N$	140.0 mm.
altura de la cabeza del filete (L) =	M	4.00 mm.	Diámetro Exterior (DE) =	$DP + (2 \cdot M)$	148.0 mm.
altura del pie del diente (j) =	$1,167 \cdot M$	4.67 mm.	Paso (P) =	$\pi \cdot M$	12.57 mm.
beta (β) =	selección	14° 30'	Altura de Diente (H) =	$2,167 \cdot M$	8.67 mm.
ancho del fondo del filete (T) =	$(P \cdot \text{Cot}(\beta/4)) / (2 \cdot \text{tg} \beta)$	3.87 mm.	Diámetro Mayor y Sobre aristas (D1) =	$DE + (0,4775 \cdot P)$	154.00 mm.
			Ancho de la Corona (A) =	$6 + (2,38 \cdot P)$	35.91 mm.
			Concavidad Periférica (R) =	$(0,5 \cdot dp) \cdot M$	12.00 mm.

Nota: Calculador de tornillo sinfin y corona métricos

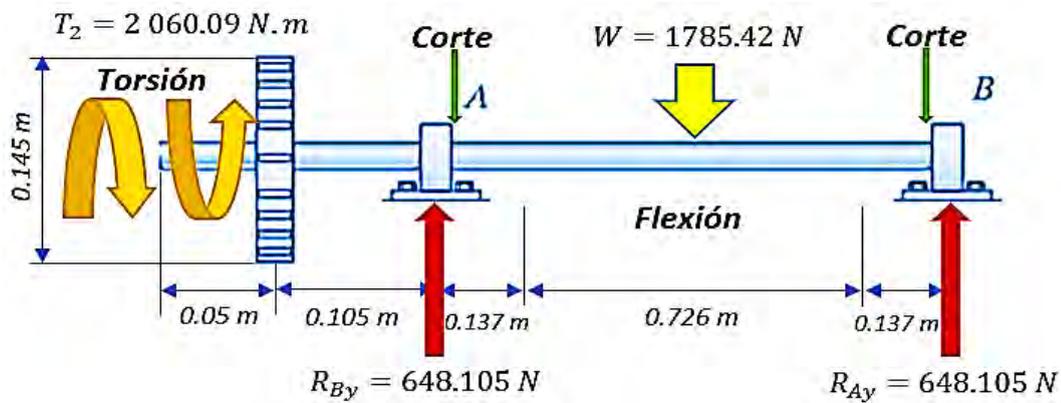
4.2.2.3.1 Diseño de eje

Tales ejes están unidos una a cada lado del horno u olla, como ya se identificaron los 2 tipos de cargas que genera la fuerza del peso del horno, siendo son cargas flectoras, cortantes y torsión. La figura 28, ilustra el diseño de un eje respecto al plano XY, el cual está sometido a las cargas identificadas.

Por el método de diagrama de fuerza cortante y diagrama de momento flector, se determinan el momento máximo y mínimo en el eje y finalmente su diámetro.

Figura 28

Cargas en los ejes.



Nota: Elaboración propia

Donde las reacciones respecto al plano XY, son:

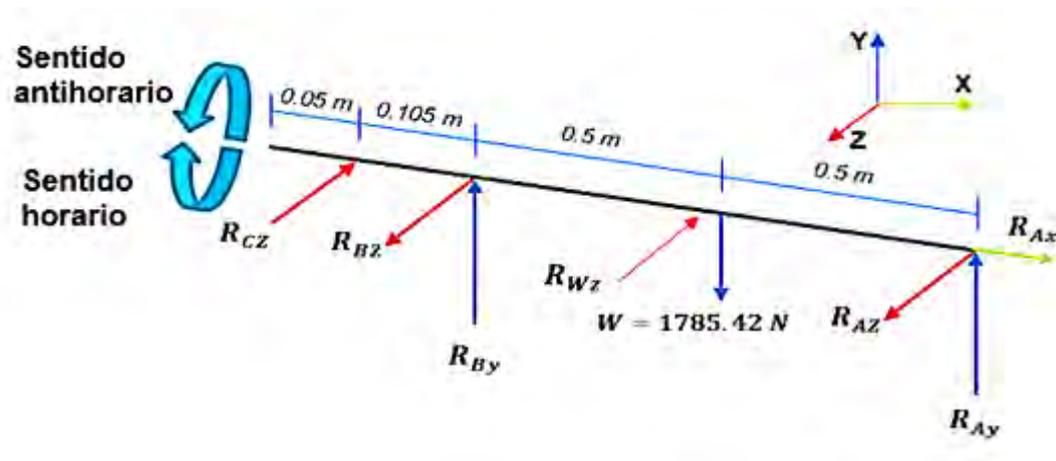
$$R_{Ay} = 892.71 \text{ N} \quad R_{By} = 892.71 \text{ N}$$

$$T_2 = 2060.09 \text{ N.m}$$

Así mismo, la figura 29, muestra las reacciones respecto al plano XZ:

Figura 29

Diagrama de cuerpo libre respecto al plano XZ.



Nota: Elaboración propia.

Donde: $\sum F_z = 0$; Si: $F_{t2} = 14207.58 \text{ N} = R_{cz}$

$$R_{Az} - R_{Wz} + R_{Bz} + R_{Cz} = 0$$

$$R_{Az} - R_{Wz} + R_{Bz} - 14\,207.58\text{ N} = 0 \quad ; \quad \text{Si: } R_{Wz} = 1785.42\text{ N}$$

$$R_{Az} + R_{Bz} = 14\,207.58\text{ N} + 1785.42\text{ N}$$

$$R_{Az} + R_{Bz} = 15993\text{ N} \dots\dots\dots \text{Ec. a}$$

Así mismo la sumatoria de momentos respecto al punto B, $\sum M_B = 0$

$$-14\,207.58\text{ N}(0.105\text{ m}) - R_{Wz}(0.605\text{ m}) + R_{Az}(1.105\text{ m}) = 0$$

$$-1491.79\text{ N}\cdot\text{m} - 1785.42\text{ N}(0.605\text{ m}) + R_{Az}(1.105\text{ m}) = 0$$

$$R_{Az}(1.105\text{ m}) = 2571.96\text{ N}\cdot\text{m}$$

$$R_{Az} = 2842.02\text{ N}$$

Reemplazando en la Ec. a:

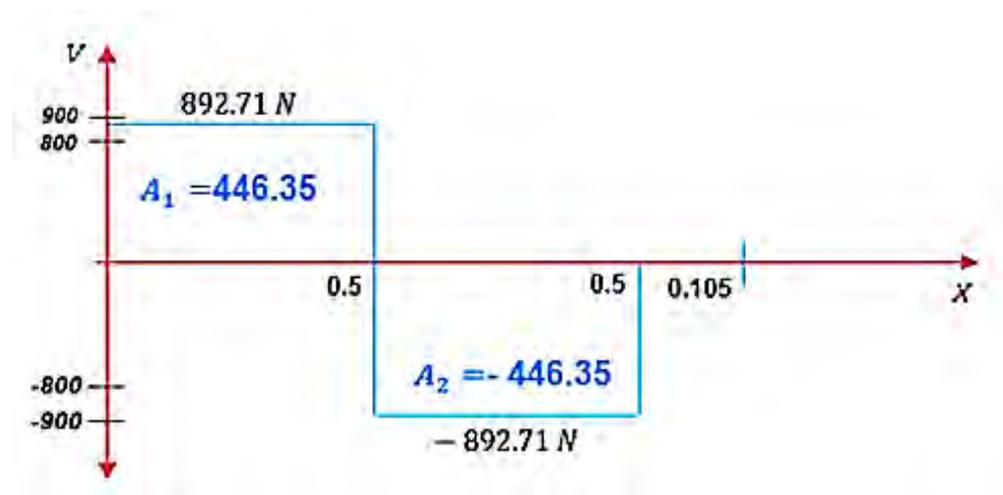
$$R_{Bz} = 15993\text{ N} - 2842.02\text{ N} = 13150.98\text{ N}$$

Por consiguiente, se tiene la figura 30 diagrama de fuerza cortante respecto al plano XY.

$$\text{Si: } R_{Ay} = 892.71\text{ N} \quad \text{y} \quad R_{By} = 892.71\text{ N}$$

Figura 30

Diagrama de fuerza cortante respecto al plano XY.



Nota: Elaboración propia.

En la figura 31, diagrama de fuerza cortante respecto al plano XZ, se tiene:

Donde:

$$R_{Az} = 2842.02 \text{ N}$$

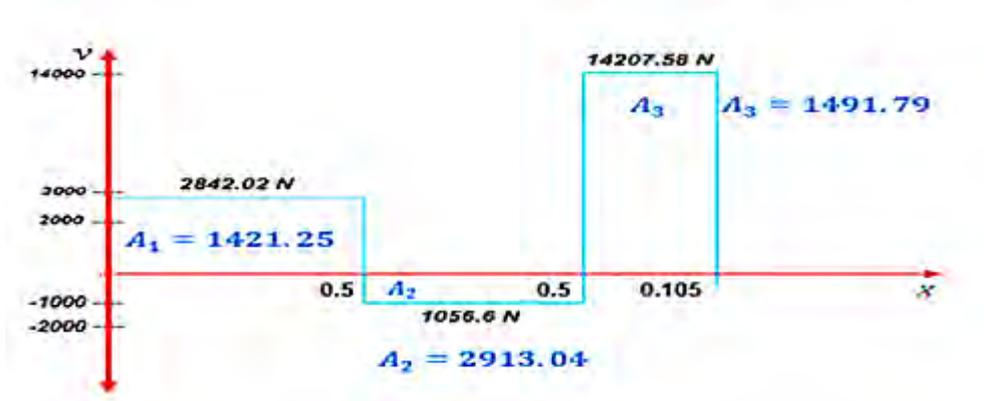
$$R_{Bz} = 13150.98 \text{ N}$$

$$R_{Cz} = 14\,207.58 \text{ N}$$

$$R_{Wz} = 1785.42 \text{ N}$$

Figura 31

Diagrama de fuerza cortante respecto al plano XZ.

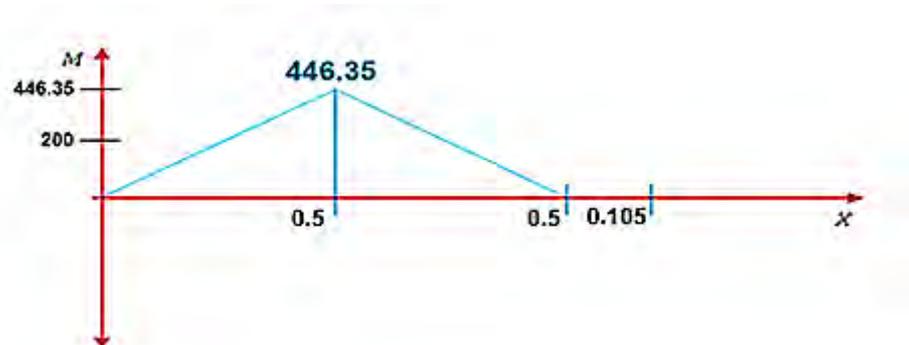


Nota: Elaboración propia.

A partir de los diagramas de fuerza cortante de los planos XY y XZ, se proceden a graficar los diagramas de momento flector. VV

Figura 32

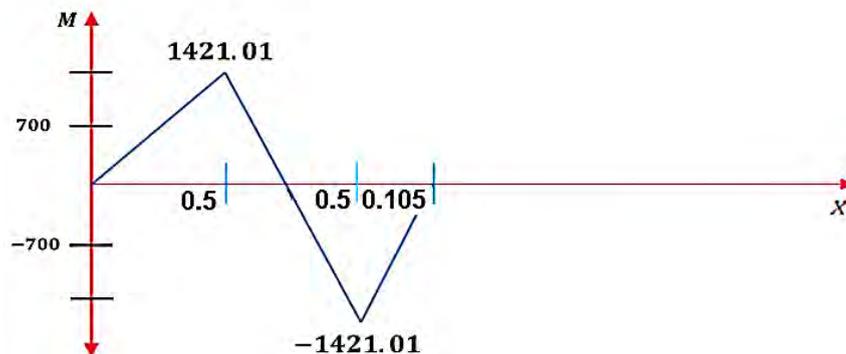
Diagrama de momento flector respecto al plano XY.



Nota: Elaboración propia.

Figura 33

Diagrama de momento flector respecto al plano XZ.



Nota: Elaboración propia.

Por consiguiente, el punto crítico la genera el peso del horno, por lo que el momento máximo se ubica en el punto medio del eje, siendo:

$$M_{m\acute{a}x.} = \sqrt{446.35^2 + 1421.01^2}$$

$$M_{m\acute{a}x.} = 1489.46 \text{ N.m}$$

Empleando la teoría de la máxima energía de distorsión o teoría de Von Mises, siendo una teoría empleada para predecir la falla de un material dúctil, se procede a calcular el diámetro del eje del horno u olla. Así mismo, se tiene la ecuación de factor de seguridad:

$$N = \frac{S_y}{\sigma'}$$

Donde:

N : Factor de seguridad

S_y : Esfuerzo de fluencia

σ' : Esfuerzo de Von Mises.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$$

Donde:

σ_x : Esfuerzo normal en X

σ_y : Esfuerzo normal en Y

τ_{xy}^2 : Esfuerzo cortante en el plano XY

Por lo que el esfuerzo normal en Y genera flexión sobre el eje, se tiene la ecuación de esfuerzo normal:

$$\sigma = \frac{M_{m\acute{a}x.} r}{I} = \frac{M_{m\acute{a}x.} r}{\frac{\pi}{4} r^4} = \frac{4 M_{m\acute{a}x.}}{\pi r^3}$$

Donde:

M : Momento máximo

r : Radio del eje

I : Momento de inercia del eje.

$$\sigma_y = \frac{4 (1489.46 N.m)}{\pi r^3} = \frac{1896.43 N.m}{r^3}$$

Por lo que no existe esfuerzo normal en X, en la ecuaci3n de Von Mises, quedara así:

$$\sigma' = \sqrt{\cancel{\sigma_x^2} + \sigma_y^2 - \cancel{\sigma_x \sigma_y} + 3\tau_{xy}^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2}$$

El esfuerzo cortante en el eje es generado por torsi3n, por lo que se tiene la siguiente ecuaci3n de esfuerzo cortante por torsi3n:

$$\tau_{xy} = \frac{T r}{J} = \frac{T r}{\frac{\pi}{2} r^4} = \frac{2 T}{\pi r^3}$$

Donde:

T : Torque

r : Radio del eje

J : Momento polar

Si el torque en la corona es: $T_2 = 2\,060.09\text{ N}\cdot\text{m}$

$$\tau_{xy} = \frac{2T}{\pi r^3} = \frac{2(2\,060.09\text{ N}\cdot\text{m})}{\pi r^3} = \frac{1311.49\text{ N}\cdot\text{m}}{r^3}$$

Aplicando el esfuerzo normal en (σ_y) y el esfuerzo cortante (τ_{xy}) en la ecuación de Von Mises:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{\left(\frac{1896.43\text{ N}\cdot\text{m}}{r^3}\right)^2 + 3\left(\frac{1311.49\text{ N}\cdot\text{m}}{r^3}\right)^2}$$

De la ecuación de factor de seguridad:

$$N = \frac{S_y}{\sigma'}$$

Del Anexo 15, factores de seguridad, el factor para aceros y basado en la resistencia máxima es $N = 3$ y del Anexo 16 propiedades mecánicas de los aceros, se considera el acero ASTM A36 donde su resistencia a la fluencia es (S_y) es 250 MPa .

Reemplazando en la ecuación de Factor de seguridad se tiene:

$$N = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$\sigma' = \frac{250\text{ MPa}}{3}$$

$$\sigma' = 83.33\text{ MPa} = 83.33 \times 10^6\text{ N/m}^2$$

$$83.33 \times 10^6\text{ N/m}^2 = \sqrt{\left(\frac{1896.43\text{ N}\cdot\text{m}}{r^3}\right)^2 + 3\left(\frac{1311.49\text{ N}\cdot\text{m}}{r^3}\right)^2}$$

$$\frac{1}{r^3} \sqrt{(1896.43 \text{ N.m})^2 + 3(1311.49 \text{ N.m})^2} = 83.33 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\frac{1}{r^3} = \frac{83.33 \times 10^6 \text{ N/m}^2}{(3) \sqrt{(1896.43 \text{ N.m})^2 + 3(1311.49 \text{ N.m})^2}}$$

$$r^3 = \frac{(3) \sqrt{(1896.43 \text{ N.m})^2 + 3(1311.49 \text{ N.m})^2}}{83.33 \times 10^6 \text{ N/m}^2}$$

$$\sqrt[3]{r^3} = \sqrt[3]{\frac{(3) \sqrt{(1896.43 \text{ N.m})^2 + 3(1311.49 \text{ N.m})^2}}{83.33 \times 10^6 \text{ N/m}^2}}$$

$$r = 19.1 \times 10^{-3} \text{ m} = 19.1 \text{ mm}$$

$$d = 38.2 \text{ mm} = 3.82 \text{ cm}$$

4.2.3 Soldadura de partes metálicas del horno de crisol basculante

La soldadura tiene por objetivo definir las condiciones para las juntas de las piezas metálicas. Las partes metálicas del horno de crisol basculante a unir son:

- Carcasas metálicas.
- Endoestructura metálica.
- Bastidor.
- Uniones de los ejes al horno u olla.

4.2.3.1 Soldadura de las carcasas metálicas

- Características de metal base a soldar
 - Plancha de acero ASTM A36
 - Espesor: 3/16" (4.7 mm)
- Tipo de electrodo, diámetro y posición de soldadura
 - Supercito, diámetro 5/32" (3.9 mm) y posición vertical.
 - La junta soldada no está sometida a grandes esfuerzos.

4.2.3.2 Soldadura de la endoestructura metálica

- Características de metal base a soldar
 - Platina de acero ASTM A36
 - Espesor: 3/16" (4.7 mm)
- Tipo de electrodo, diámetro y posición de soldadura
 - Supercito, diámetro 5/32" (3.9 mm) y posición vertical.
 - La junta soldada no está sometida a grandes esfuerzos.

4.2.3.3 Soldadura del bastidor

- Características de metal base a soldar
 - Tubo rectangular de acero ASTM A500
 - Espesor: (7.5 cm x 5 cm) x 3/16" (4.7 mm)
 - Límite de fluencia: 269 MPa
 - Resistencia a la tracción: 310 MPa
- Tipo de electrodo, diámetro y posición de soldadura
 - Supercito, diámetro 5/32" (3.9 mm) y posición vertical - horizontal.
 - La junta soldada está sometida al peso del horno. Observar las respectivas simulaciones del bastidor.

4.2.3.4 Soldadura de ejes

- Características de metal base a soldar
 - Plancha de acero ASTM A36
 - Diámetro de eje: 38.2 mm
 - Límite de fluencia: 235 MPa
 - Resistencia a la tracción: 402 MPa

Del Anexo 17, se muestran las ecuaciones de momento resistente unitario y momento polar de inercia. Por consiguiente, los ejes están sometidos a cargas de corte y torsión, se determinan las siguientes cargas:

➤ Carga por torsión (f_t)

$$f_t = \frac{T r}{J_u}$$

Donde:

f_t : Carga por torsión

T : Torque en el eje.

r : Radio del eje

J_u : Momento polar de inercia

Si: $J_u = \pi \frac{D^3}{4}$

El torque producido es: $T_2 = 2\,060.09 \text{ N.m}$

$$f_t = \frac{T r}{J_u}$$

$$f_t = \frac{(2\,060.09 \text{ N.m}) (0.0382 \text{ m}/2)}{\pi \frac{(0.0382 \text{ m})^3}{4}} = 7025.25 \text{ N}$$

➤ Carga por cortante (f_s)

$$f_s = \frac{W}{\pi D}$$

Donde:

D : Diámetro del eje

Si el peso del horno: $W = 1785.42 \text{ N}$

$$f_s = \frac{W}{\pi D}$$

$$f_s = \frac{1785.42 \text{ N}}{\pi (0.0382 \text{ m})} = 1461.01 \text{ N/m}$$

Donde la fuerza resultante:

$$FR = \sqrt{f_t^2 + f_s^2} = \sqrt{(7025.25 \text{ N/m})^2 + (1461.01 \text{ N/m})^2}$$

$$FR = 4309.65 \text{ N/m}$$

Determinando el esfuerzo permisible (EP) y considerando un factor de seguridad N=1.5.

$$EP = \frac{FR}{1.5}$$

$$EP = \frac{4309.65 \text{ N/m}}{1.5} = 2873.1 \text{ N/m}$$

En la ecuación de garganta teórica:

$$G.t = \frac{EP}{r_{elec}} \quad o \quad h = \frac{G.t}{0.707}$$

Donde:

$G.t$: Garganta teórica

r_{elec} : Resistencia a la tracción del electrodo

h : Garganta de la soldadura

Electrodo a emplear, SUPERCITO cuya resistencia a la tracción es: 610 MPa o 610 N/mm².

$$G.t = \frac{EP}{r_{elec}} = \frac{2873.1 \text{ N/m}}{610 \text{ N/mm}^2} = 4.71 \text{ mm}$$

$$h = \frac{G.t}{0.707} = \frac{4.71 \text{ mm}}{0.707} = 6.67 \text{ mm}$$

4.2.3.5 Soldadura de angulares metálicos

- Características de metal base a soldar
 - Angular de acero ASTM A36
 - Dimensiones: 2 1/2" x 2 1/2" x 3/16" (6.35 mm x 6.35 mm x 4.7 mm)

- Tipo de electrodo, diámetro y posición de soldadura:
 - Supercito, diámetro 5/32" (3.9 mm). Posición vertical y horizontal.

4.2.4 Selección de chumaceras

Las chumaceras se emplean bajo las siguientes condiciones de velocidad de giro, temperatura a la que se somete y las respectivas fuerzas o cargas. Por lo que, las uniones fijas o ejes están unidas al horno u olla mediante soldadura y estos a su vez están apoyados en chumaceras para permitir su rotación o giro. Así mismo estas chumaceras están alineadas con respecto al bastidor y están empernadas al bastidor otorgándole una fijación segura. Por tanto, estas chumaceras están sometidas a:

- Velocidad de giro del horno u olla: Si bien no será necesario que el horno rote 360° por lo que, para la respectiva colada, tendrá un giro de entre 0° a 150° y viceversa.
- Temperatura: Temperatura en la cara externa del horno (127 °C).
- Diámetro del eje: 38.2 mm.
- Cargas estáticas:

Respecto al eje Y

$$R_{Ay} = 892.71 \text{ N}$$

$$R_{By} = 892.71 \text{ N}$$

Respecto al eje Z

$$R_{Az} = 2842.02 \text{ N}$$

$$R_{Bz} = 13150.98 \text{ N}$$

Empleando el catálogo de chumaceras NTN Corporation ver Anexo 18, se determinó la chumacera tipo puente con tornillo de fijación de código UCP207D1.

Tabla 41

Catálogo de chumaceras NTN.

Dimensiones de la chumacera UCP207D1									
36	UCP207D1	47.6	167	127	48	17	20	18	93
		1/8	9/16	5	1/8	21/32	25/32	23/32	3/32

Nota: Tomado de Catálogo de chumaceras NTN Corporation (p. 60), 2021, <https://grupodoyma.com>.

4.2.5 Selección de pernos

Se empleó un perno roscado tipo hexagonal de 5/8" x 4" de grado 8.8 categoría B solicitación de tipo corte. Por lo que el ajuste del perno genera compresión entre la chumacera y el bastidor impiden su deslice a lo largo de los ejes X y Y. Mediante la siguiente tabla 42 se determina el grado del perno o sujetador a emplear:

Tabla 42

Clases de Tornillos para Sujeciones.

Solicitación	Categoría	Fallo	Clase de tornillo
Corte	A y B	Sin deslizamiento	Tornillo pretensado grado 8 y 10.
Tracción	A y B	Tracción	Tornillo sin pretensar grado 4 y 10.

Nota: Tomado de Uniones atornilladas (p. 12), por R. P. Ringegni, 2016, <https://upcommons.upc.edu>.

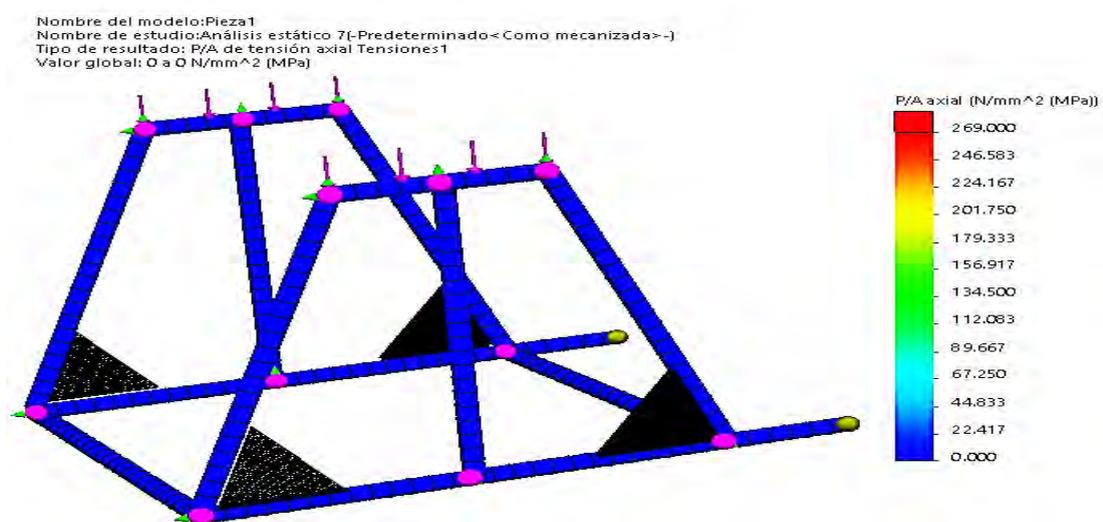
4.2.6 Simulación del soporte metálico o bastidor

Empleando el software SOLIDWORKS se desarrolló las gráficas siguientes:

a) Gráfica de tensiones

Figura 34

Gráfica de tensiones.



Nota: Elaboración propia

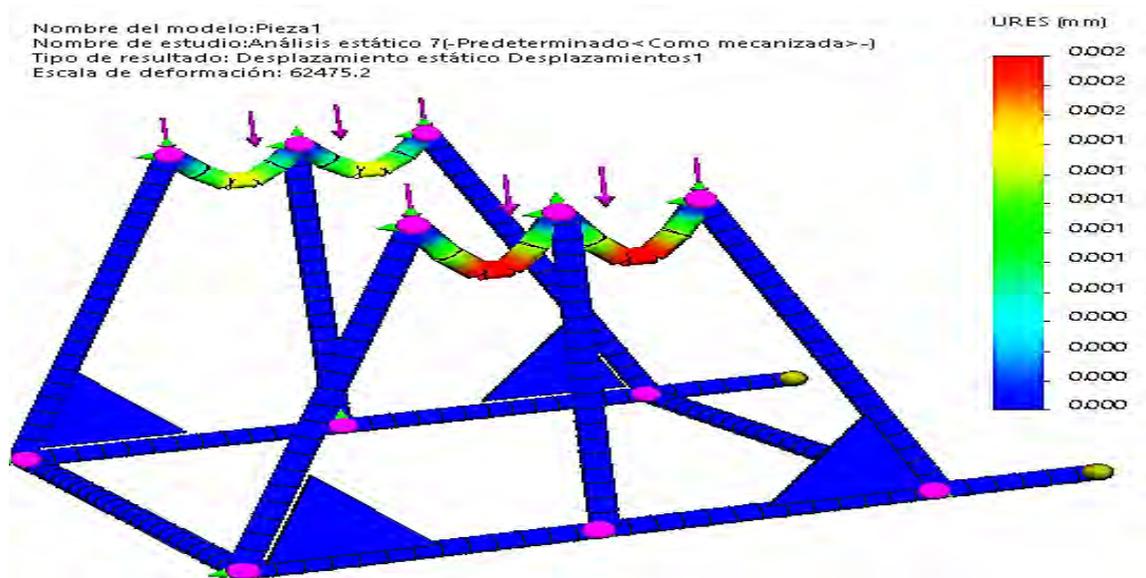
Siendo el límite de fluencia del tubo rectangular ASTM A500, 269 MPa o 2.6×10^8 N/m². En el siguiente gráfico, carga del horno u olla siendo de 1785.42 N, no afecta en el diseño del bastidor, es decir no la deforma, esto se puede comprobar apreciando en la barra de colores una tonalidad azul y en el mismo diseño.

b) Gráfica de desplazamiento

Debido a la acción de la carga del horno u olla de 1785.42 N, los elementos del bastidor con tonalidad azul no sufren desplazamientos, en tanto los elementos del bastidor con tonalidad roja, sufren desplazamientos de 0.002 mm.

Figura 35

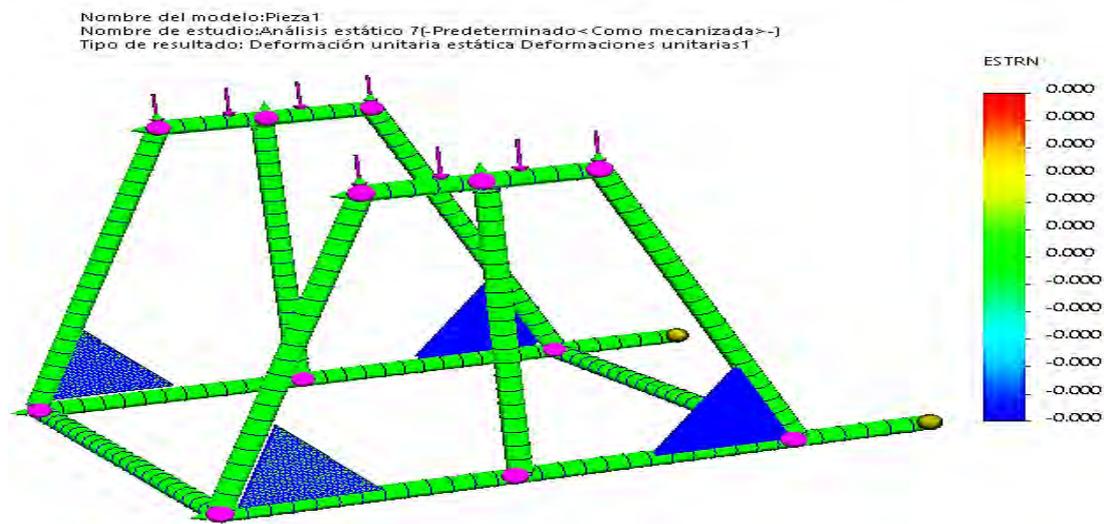
Gráfica de desplazamiento.



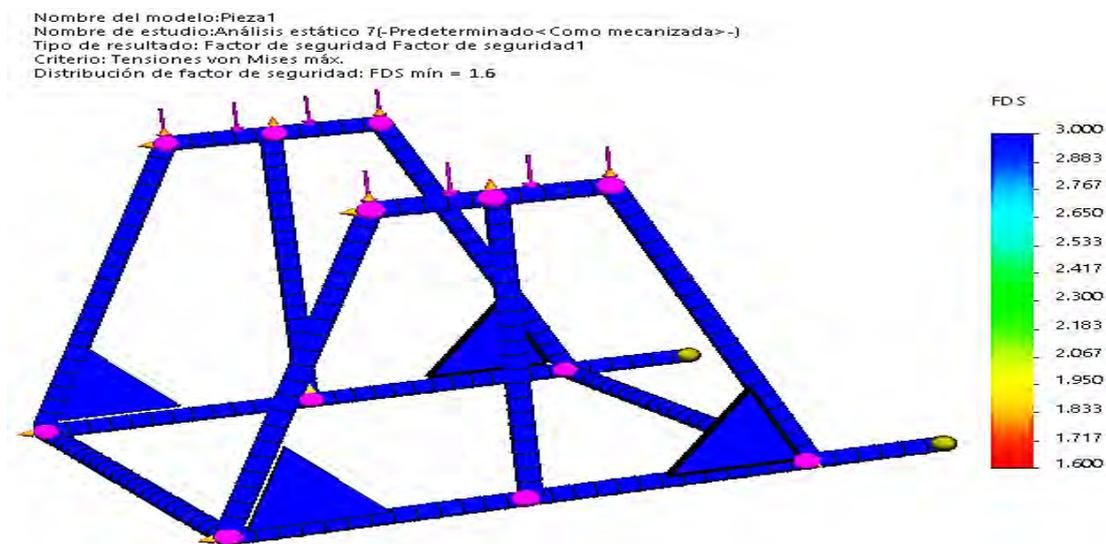
Nota: Elaboración propia

c) Gráfica de deformación

Si bien en la figura 36 o gráfico de deformaciones, los elementos del bastidor muestran una tonalidad verde, el cual en la barra multicolor indica también una tonalidad verde con deformación de 0.000, es decir sin deformación. Por lo tanto, el diseño del bastidor resulta satisfactorio.

Figura 36*Gráfica de deformación.**Nota:* Elaboración propia

d) Gráfica de factor de seguridad

Figura 37*Gráfica de factor de seguridad.**Nota:* Elaboración propia.

El diseño muestra un FDS o factor de seguridad máximo de 3.0, es decir el bastidor puede resistir 3 veces más el peso del horno u olla.

CAPÍTULO V. CONSTRUCCIÓN DEL HORNO DE CRISOL BASCULANTE

5.1 Construcción del producto inicial

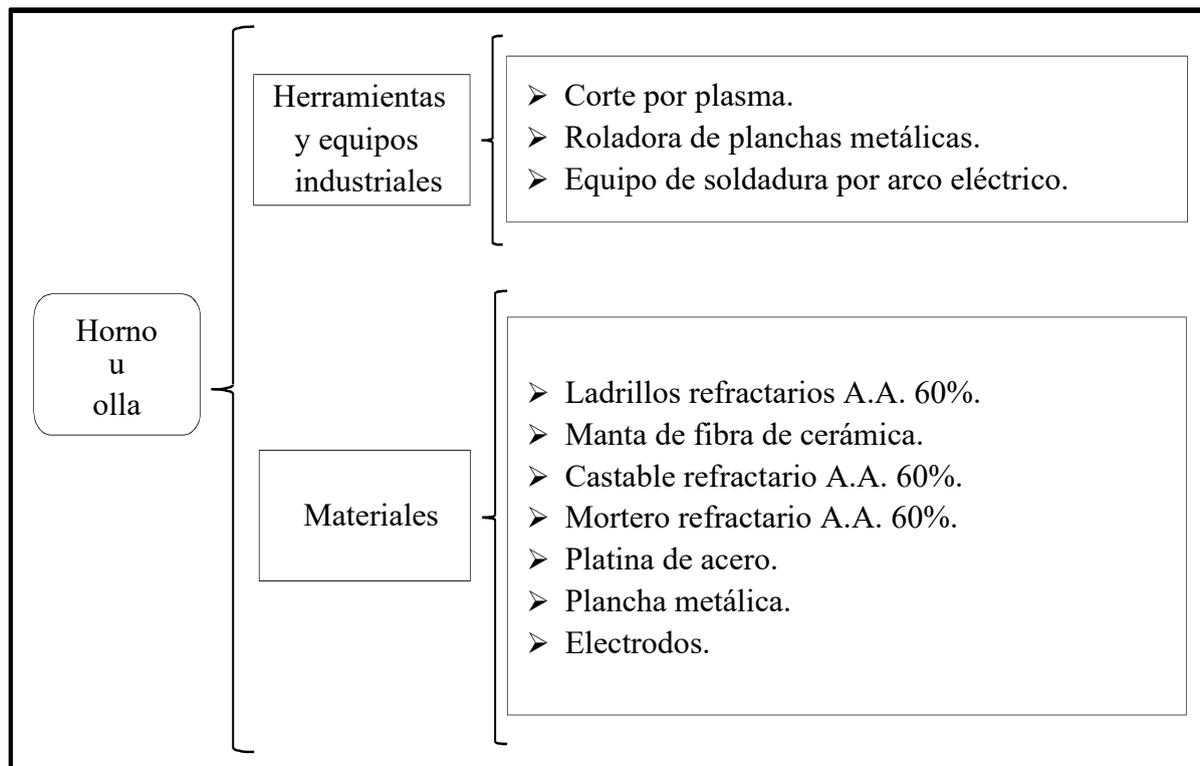
El producto inicial, resulta del ensamblaje de los materiales principales, conjuntamente con la combinación de equipos industriales y herramientas, este producto industrial, está conformado por un sistema general y subsistema. El sistema general, está conformado por el horno u olla, bastidor y sistema de transmisión de movimiento, en tanto el subsistema está conformado por el quemador.

5.1.1 Construcción del horno u olla

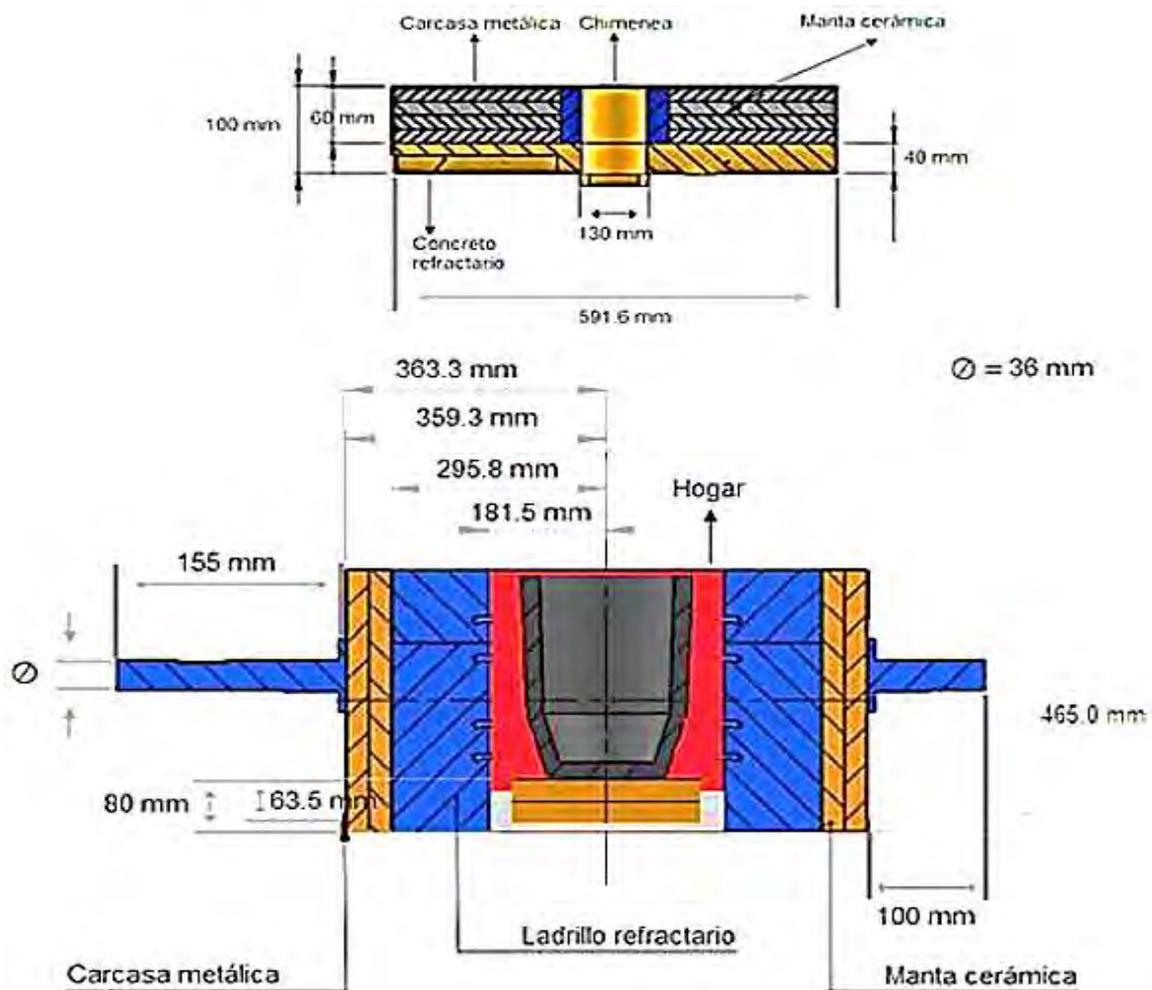
La figura 38, muestra la combinación de equipos industriales, herramientas, materiales e insumos.

Figura 38

Herramientas, equipos y materiales para la construcción del horno u olla.



Nota: Elaboración propia.

Figura 39*Dimensiones del horno u olla*

Nota: Elaboración propia.

a) Preparación de piezas metálicas.

El Plano B, carcassas metálicas, muestra las medidas para los respectivos cortes y rolado correspondientes para la tapa, base y coraza cilíndrica del horno u olla.

El Plano C de endoestructura metálica, muestra las medidas correspondientes para su ensamblaje. La figura 40, muestran las partes o piezas metálicas que conformaron el horno u olla, en tanto el material empleado para la coraza metálica fue una plancha metálica ASTM A36, cuya ficha técnica se puede apreciar en el anexo 19, bobinas y planchas metálicas.

Figura 40

Piezas metálicas que conformaron el horno u olla.



Nota: Elaboración propia.

b) Ensamblaje de la endoestructura metálica, carcasa metálica y soldadura de ejes.

El material empleado para la endoestructura metálica, fue el acero ASTM A36 de 6 m x 2 1/2" x 3/16".

Figura 41

Soldadura a tope en la endoestructura metálica



Nota: Elaboración propia.

Para la coraza metálica y tapa, se empleó la plancha metálica ASTM A36 de 1.20 m x 2.40 m x 3/16". Su ficha técnica se aprecia en el anexo 20.

Figura 42

Soldadura a tope de la carcasa metálica.



Nota: Elaboración propia.

Se procedió con la construcción de la tapa del horno.

Figura 43

Soldadura tipo filete de la tapa metálica



Nota: Elaboración propia.

Finalmente se ensamblaron los respectivos ejes al horno u olla por el proceso de soldadura por arco eléctrico, en tanto, los ejes son de un material de acero liso ASTM A36, cuya ficha técnica se muestra en el anexo 21 y 22.

Figura 44

Unión soldada tipo filete en los ejes



Nota: Elaboración propia.

c) Construcción de la cámara de combustión.

Para tal efecto, se emplearon los respectivos ladrillos refractario A.A. 60%, con las siguientes medidas:

- Arco N° 1 (9" x 4 1/2" x (2 1/2" - 2 1/8"))
- Arco N° 2 (9" x 4 1/2" x (2 1/2" - 1 3/4"))
- Arco N° 3 (9" x 4 1/2" x (2 1/2" - 1"))
- Rectangular (9" x 4 1/2" x 2 1/2")
- Pequeño dividido (9" x 4 1/2" x 1 1/4")

Figura 45

Formas y medidas de los ladrillos refractarios.

	RECTANGULAR (STRAIGHT) 229x114x63 mm 9"x4 1/2" x 2 1/2"		PEQUEÑO (SMALL) 229x89x63 mm 9"x3 1/2" x 2 1/2"
	JABON (SOAP) 229x57x63 mm 9"x2 1/2" x 2 1/2"		JABON (SOAP) 229x57x63 mm 9"x2 1/2" x 2 1/2"
	ARCO (ARCH) N° 1 229x114x(63-54) mm 9"x4 1/2" x (2 1/2" - 2 1/8") N° 2 229x114x(63-44) mm 9"x4 1/2" x (2 1/2" - 1 3/4") N° 3 229x114x(63-25) mm 9"x4 1/2" x (2 1/2" - 1")		CUÑA (WEDGE) N° 1-X 229x114x(63-57) mm 9"x4 1/2" x (2 1/2" - 2 1/4") N° 1 229x114x(63-48) mm 9"x4 1/2" x (2 1/2" - 1 7/8") N° 2 229x114x(63-38) mm 9"x4 1/2" x (2 1/2" - 1 1/2")

Nota: Ficha técnica ladrillos refractarios (p. 18), por Frisac, <https://www.frisac.pe>.

Así mismo, para la junta de los ladrillos refractario y vaciado del piso de la cámara de combustión, se emplearon los siguientes insumos:

- Concreto refractario A.A. 60 %.
- Mortero refractario de A.A. 60 %.

Figura 46

Concretos refractarios.



Nota. Elaboración propia.

Se procedió a forrar con la manta de fibra de cerámica a un espesor de 63.5 mm, seguidamente, se procede con el apilamiento, junta de los ladrillos refractarios A.A. 60 %.

y fraguado de los insumos refractarios.

Figura 47

Construcción de la cámara de combustión u hogar.



Nota. Elaboración propia

Seguidamente procedió con el acanalado, en el que se empleó un ladrillo refractario recto de 9" x 4 1/2" x 2 1/2".

Figura 48

Acanalado.



Nota. Elaboración propia.

d) Construcción de la tapa del horno.

Figura 49

Tapa del horno.



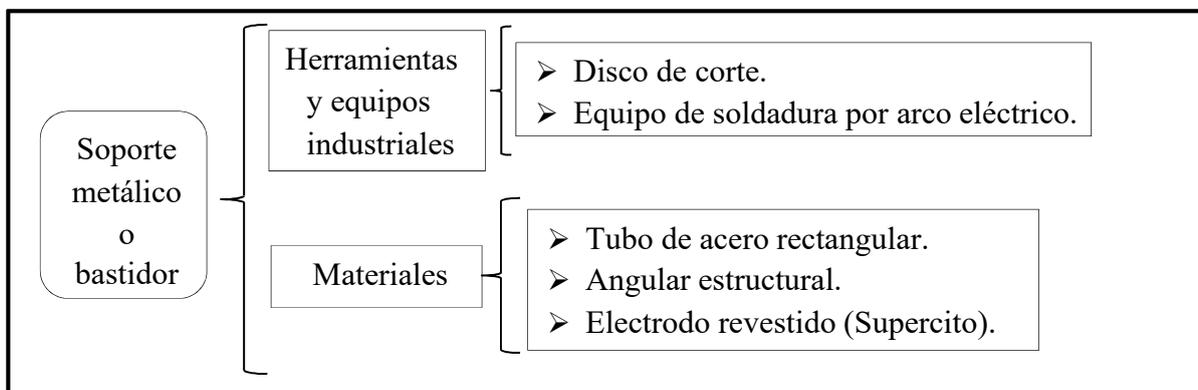
Nota. Elaboración propia.

- ***Ensamblaje del soporte metálico o bastidor***

A partir del Plano D y mediante la siguiente figura 50, se procedió con el ensamblaje del soporte metálico o bastidor.

Figura 50

Herramientas y equipos para el ensamblaje del bastidor.



Nota: Elaboración propia.

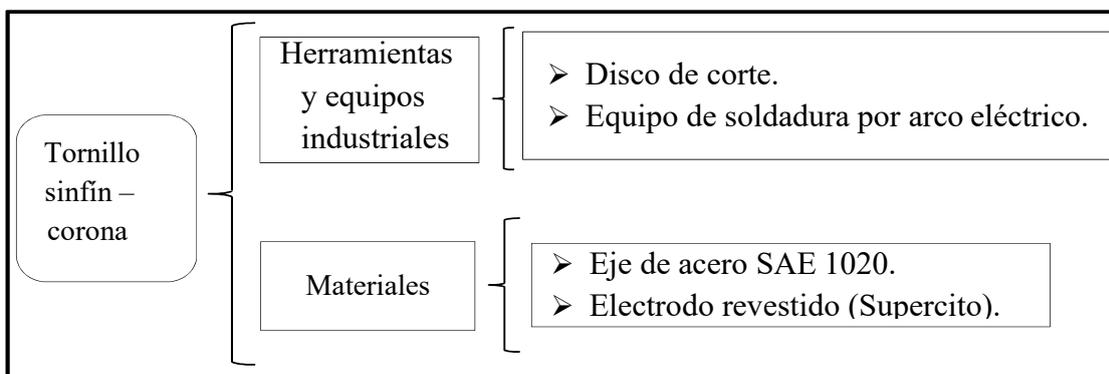
a) Preparación del tubo de acero rectangular.

El soporte metálico o bastidor, está conformado por un tubo de acero rectangular ASTM A500 de 6 m x (7.5 cm x 5 cm) x 3/16" de espesor y por un angular estructural de 2" x 2" x 3/16". Ver anexo 23, ficha técnica del tubo de acero rectangular.

Figura 51*Ensamblaje del bastidor.**Nota.* Elaboración propia.

- ***Ensamblaje del sistema de transmisión de movimiento***

El sistema de transmisión de movimiento consta del ensamblaje de un tornillo sinfín – corona, previamente manufacturado.

Figura 52*Herramientas y equipos para el ensamblaje del tornillo sinfín.**Nota:* Elaboración propia.a) **Manufactura del tornillo sinfín – corona.**

En función a la tabla 41 del capítulo III, dimensiones del tornillo sinfín – corona y en función al Plano E; para su manufactura, se otorgó al taller “Tornería Pena” ubicada en la Av. Manco Cápac N° 719 – Wanchaq.

b) **Ensamblaje del tornillo sinfín – corona.**

Se procedió con el ensamblaje del tornillo sinfín sobre el bastidor y con respecto a la corona, este se ensamblo al respectivo eje.

Figura 53

Ensamblaje del sistema de transmisión de movimiento.



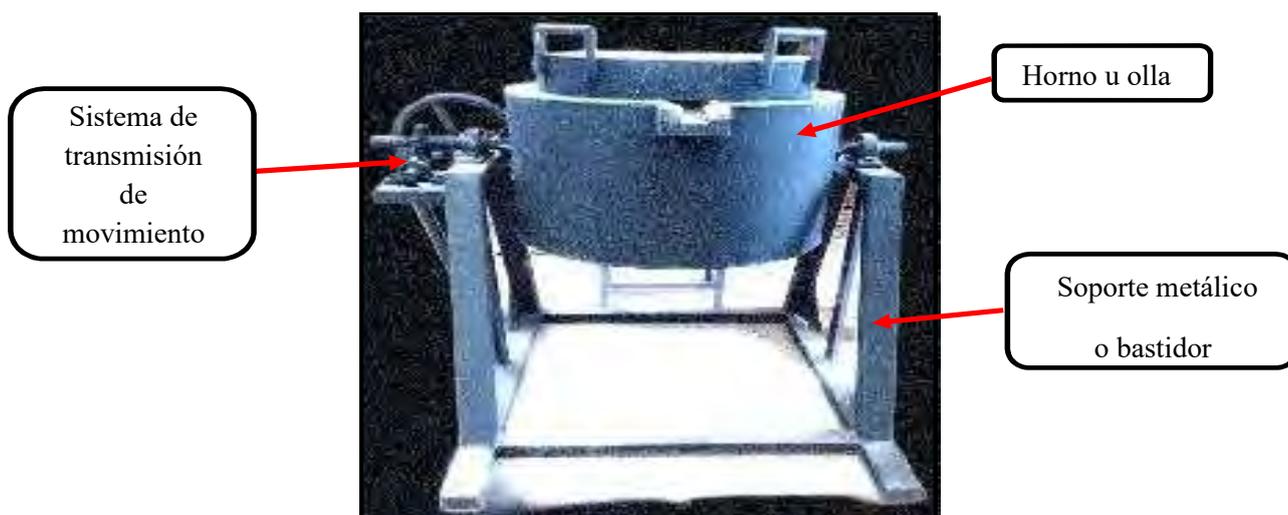
Nota. Elaboración propia.

5.2 Producto final

El producto final es el resultado del ensamblado entre el horno u olla, bastidor, sistema de transmisión de movimiento y quemador.

Figura 54

Horno de crisol basculante.



Nota. Elaboración propia

5.3 Puesta en marcha

Mediante la tabla 43, que muestra el plan de acción que se llevó a cabo tanto para el traslado del horno de crisol basculante al taller de fundición y moldeo, la verificación del horno, ajuste de pernos, engrase del tornillo sinfín – corona, calibración del quemador HSG 400 mediante el manual de instalaciones y las respectivas pruebas de ignición del mismo quemador, es que se logró con dicho objetivo listo para realizar las pruebas de fusión.

Tabla 43

Plan de acción para la puesta en marcha del horno de crisol.

Actividad	Tiempo	Lugar	Recursos	Seguimiento	Logro
1. Izado y traslado del horno de crisol basculante y subsistemas.	1 día (19/11/2021)	Taller de fundición y moldeo.	• Camión grúa o aguilón	Lineamientos de seguridad proporcionado por el operador del aguilón.	Se logró el izado y traslado al taller de fundición y moldeo.
2. Instalación de los subsistemas del horno de crisol basculante.	1 día (23/11/2021)	Taller de fundición y moldeo.	• Balón de gas. • Centralita. • Quemador HSG 400.	Empleo de manual instalación.	Se logró instalar de forma correcta los subsistemas.
3. Pruebas de ignición y regulación del quemador HSG 400 y pruebas de funcionamiento del sistema basculante del horno de crisol.	1 día (26/11/2021)	Taller de fundición y moldeo.	• Balón de gas. • Centralita. • Quemador HSG 400. • Horno de crisol basculante.	Empleo de manual de instalación y datos de diseño.	Se logró la ignición y se logró verificar el correcto funcionamiento del sistema basculante del horno de crisol.

Nota. Elaboración propia.

Figura 55

Izado y traslado del horno de crisol basculante.



Nota. Elaboración propia.

➤ Orifice size

Dado que el combustible a emplear es el GLP de 10 kg, de cuya presión del balón de gas es 1.7 MPa o 170 000 mbar y que contiene 4 m³ de GLP, así mismo, por cada metro cúbico de GLP, se obtiene 28 000 Kcal de energía calorífica. El quemador HSG 400, está diseñado para operar a una presión mínima de 498.2 Pa o 4.98 mbar hasta una presión máxima de 996.4 Pa o 9.96 mbar. Al mantener la presión máxima, se obtiene una alta energía calorífica y al disminuir la presión menor es la cantidad de energía calorífica. Así mismo, la centralita o unidad de control está conformado por una única línea de tubos galvanizados específicamente para transporte de GLP, un regulador de baja presión modelo LV44003B66 marca REGO que admite 170 000 mbar de presión y la reduce a 40 mbar, así mismo, por un manómetro para GLP de baja presión que mide en un rango de 0 a 80 mbar. Para la prueba de ignición y regulado del quemador, se probó con el orificio número 332 para GLP para recibir una energía calorífica de 400 000 BTU, inicialmente el manómetro marca 40 mbar esto se debe a la reducción de presión por el regulador para hacer ignición, el termostato se fija en el nivel 1, se le da un tiempo de 2 minutos para que se active la chispa y la válvula solenoide se active automáticamente permitiendo el flujo del gas y

5.4 Pruebas de fusión

Las pruebas de fusión, están constituidas bajo el siguiente plan de acción de la tabla 45.

Tabla 45

Plan de acción para las pruebas de fusión

Actividad	Tiempo	Lugar	Recursos	Seguimiento	Logro
1. Pruebas de calentamiento del horno de crisol.	1 día (26/11/2021)	Taller de fundición y moldeo.	<ul style="list-style-type: none"> • Balón de gas. • Centralita. • Quemador HSG 400. • Horno de crisol basculante. • Termopar 	Datos de diseño y conocimiento de fundición.	Se logró las pruebas de calentamiento.
2. Pruebas de fusión.	2 días (30/11/2021) (03/12/2021)		<ul style="list-style-type: none"> • Balón de gas. • Centralita. • Quemador HSG 400. • Horno de crisol basculante. • Termopar. • Aluminio reciclado 10 kg. 		Se logró fundir 5 y 10 kg de carga metálica de chatarra de aluminio.

Nota: Elaboración propia.

Ya una vez configurado los requerimientos del quemador y centralita, se procedió con 2 pruebas de fusión, y se tomaron los siguientes datos:

1. Primera prueba de fusión: (30/11/2021)

- Peso inicial del balón de gas: 20.5 kg o 4 m³
- Peso del bórax (borato de sodio): 23 g
- Energía calorífica: 400 000 BTU
- Orifice size: N° 332
- Thermostat: Set N° 4

- Peso final del balón de gas: 17.2 kg o 3.35 m³
- Consumo de GLP: 0.65 m³

La primera fusión se realizó sin calentamiento del horno e incluido la carga metálica de chatarra de aluminio.

Tabla 46

Datos de la primera prueba de fusión.

Primera prueba de fusión		
- Estado del horno: frío		
- Material: aluminio reciclado		
- Peso: 5 kg		
Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Presión (mbar)
0	20	9.96
5	385	9.88
10	510	9.8
15	590	9.72
20	646	9.74
25	659	9.66
30	670	9.58
35	705	9.4

Nota. Elaboración propia

2. Segunda prueba de fusión: (03/12/2021)

- Peso inicial del balón de gas: 20.5 kg o 4 m³
- Peso del bórax (borato de sodio): 45 g
- Energía calorífica: 400 000 BTU
- Orifice size: N° 332
- Thermostat: Set N° 4
- Peso final del balón de gas: 14 kg o 2.73 m³

➤ Consumo de GLP: 1.27 m³

Tabla 47

Datos de la segunda prueba de fusión.

Segunda prueba de fusión		
- Estado del horno: frío		
- Material: aluminio reciclado		
- Peso: 10 kg		
Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Presión (mbar)
0	17	9.96
5	380	9.88
10	506	9.8
15	610	9.72
20	700	9.74
25	590	9.66
30	653	9.58
35	674	9.5
40	685	9.42
45	705	9.34
50	601	9.26
55	658	9.18
60	676	9.1
65	760	9.02

Nota. Elaboración propia.

A continuación, en las figuras 57 y 58 se muestran las respectivas evidencias tanto de la colada del metal fundido luego de haber alcanzado la temperatura de fluidez y el producto final, que vino a ser aluminio puro con su respectiva escoria, para así compararla y determinar sus proporciones en términos de peso mediante un balance de materia. Cabe resaltar, que ambas figuras muestran en el área de trabajo que comprende el taller de fundición y moldeo de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica.

Figura 57*Colada del aluminio.**Nota.* Elaboración propia.**Figura 58***Tocho de aluminio fundido.**Nota.* Elaboración propia.

5.5 Interpretación de resultados

5.5.1 Balance de materia de primera prueba de fusión

Tabla 48

Balance de materia de la primera prueba de fusión.

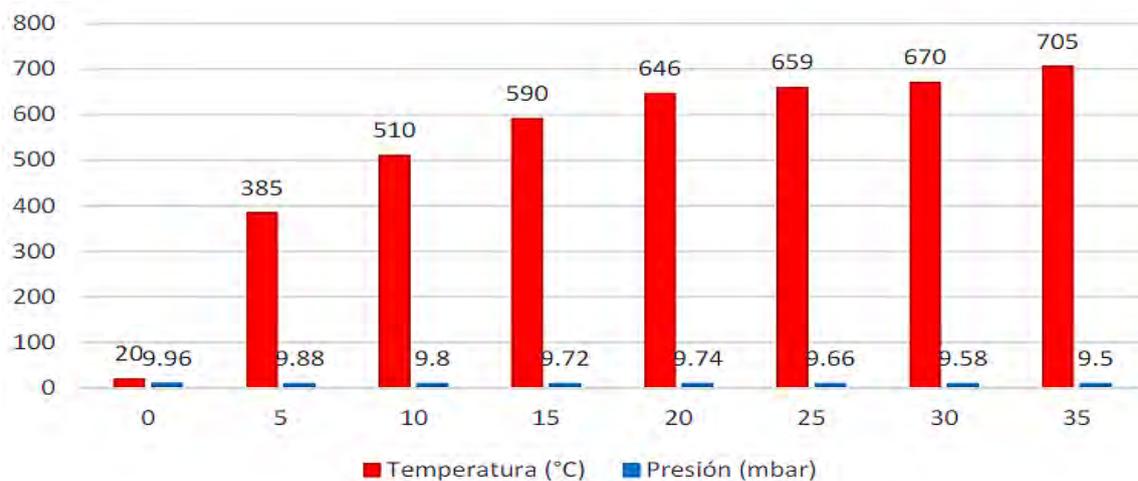
Primera prueba de fusión			
Entrada	5 kg Aluminio reciclado	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	$C_3H_8 + C_4H_{10} + 6(O_2 + N_2)$
Salida	4.214 kg de Al	Ácido bórico	Gases
	786 g de escorias (Cu, Fe, Cr, Ni, Al_2O_3)	(H_3BO_3)	$(CO_2 + H_2O + NO_2)$

Nota. Elaboración propia.

5.5.1.1 Gráfico de columnas agrupadas de primera prueba de fusión

Figura 59

Gráfico de columnas agrupadas de la primera prueba de fusión.



Nota. Elaboración propia.

La primera prueba de fusión, se desarrolló incluyendo la carga metálica desde el minuto cero, lográndose fundir en el minuto 25 y se adicionó 10 minutos más equivalente al minuto 35 para lograr la temperatura de colada. En tanto la presión del fluido gaseoso, descendió de manera constante, ya que, por cada 5 minutos de transcurso de tiempo, la presión descendía 0.08 mbar.

5.5.2 Balance de materia de segunda prueba de fusión

Tabla 49

Balance de materia de la segunda prueba de fusión.

Segunda prueba de fusión			
Entrada	10 kg Aluminio reciclado	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	$C_3H_8 + C_4H_{10} + 6(O_2 + N_2)$
Salida	8.214 kg de Al	Ácido bórico	Gases
	1.786 g de escorias (Cu, Fe, Cr, Ni, Al_2O_3)	$(H_3BO_3)_g$	$(CO_2 + H_2O + NO_2)$

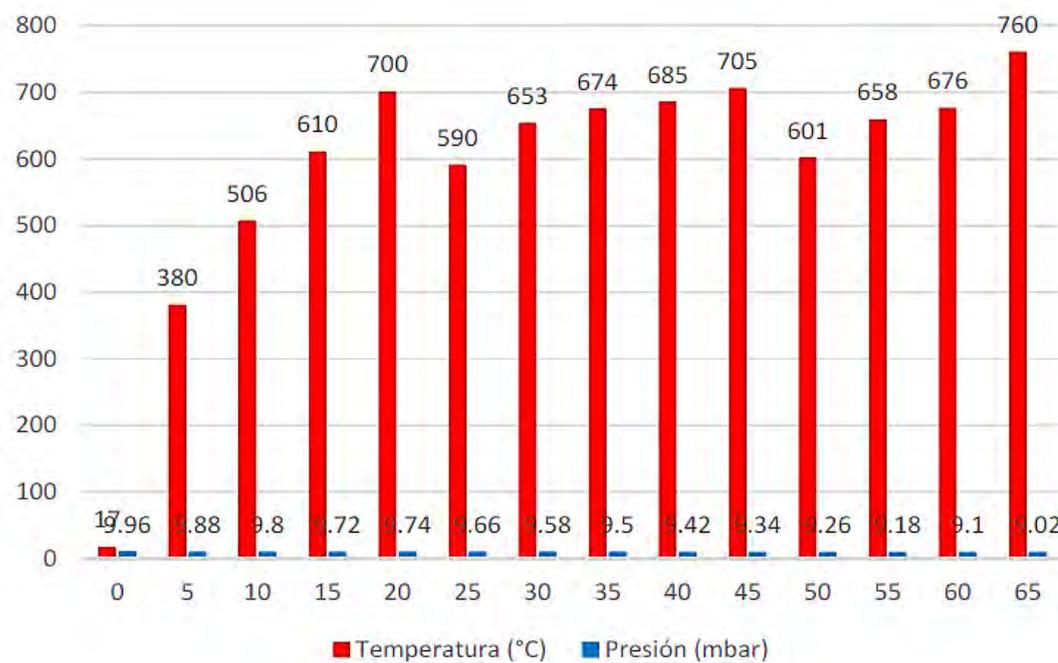
Nota. Elaboración propia.

5.5.2.1 Gráfico de columnas agrupadas de la segunda prueba de fusión

En esta segunda prueba de fusión para 10 kg de chatarra de aluminio, se hizo un precalentamiento del horno por un periodo de 20 minutos, en este punto se alcanzó 700 °C y se realizó la primera carga metálica de 8 kg, en donde la temperatura del horno descendió a 590 °C y progresivamente se alcanzó en el minuto 45, una temperatura de 705 °C, en este punto de completaron los 2 kg de carga metálica restantes, nuevamente se perdió calor descendiendo la temperatura a 601 °C posterior a ello y progresivamente en el minuto 65 se alcanzó la temperatura de colada de 760 °C, ideal para hacer el vertido. En tanto la presión del fluido gaseoso, se va reduciendo a medida que el tiempo transcurre, igualmente se obtuvo una constante de 0.08 mbar, llegando a descender en minuto 65, a 9.02 mbar. Por otra parte, si bien la eficiencia térmica del horno de crisol basculante es 80.29 % fusión, en las pruebas de fusión se empleó los 400 000 BTU o 117 160 W equivalente al 100 %, es decir, el calor que produce el horno de crisol basculante respecto a su eficiencia térmica es 93 728 W. Así mismo, se comprobó que la temperatura en la carcasa del horno de crisol basculante, registró una temperatura de 130 a 137 °C, el cual, según el diseño la temperatura en la cara externa es 127 °C, registrando 130 a 133 °C.

Figura 60

Gráfico de columnas agrupadas de la segunda prueba de fusión.



Nota. Elaboración propia.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

1. En esta tesis se diseñó y construyó un horno de crisol de 50 kilogramos de capacidad, para la fusión de aluminio, acorde a la necesidad de las actividades académicas en el laboratorio de fundición y moldeo de la escuela profesional, en dicho reactor el metal fundido, se extrae con mayor facilidad sin la necesidad de exponer a los operarios al calor proveniente de la cámara de combustión, gracias a su sistema de basculación. También se eliminaron los riesgos ergonómicos como posturas forzadas y levantamiento de cargas pesadas.
2. Se realizó los cálculos de ingeniería pertinentes para dimensionar los diferentes elementos del horno de crisol, los principales son: el diámetro del eje que permite la basculación es 36.2 mm, el diámetro externo del horno es 726.6 mm, el diámetro interno es 363 mm, y la altura es 565 mm.
3. Se determinó una eficiencia térmica del horno de crisol de 80,3 % mediante cálculos del balance de energía, donde se consideró las propiedades del crisol, de las múltiples capas del horno y de la llama o flama del combustible GLP.
4. Se realizaron pruebas de fusión y se logró reiterar la concordancia entre el diseño y el funcionamiento del equipo, se desarrolló 2 pruebas de fusión planificadas, en una primera instancia se cargó 5 kg de aluminio reciclado, lográndose la fusión en un tiempo 35 minutos en tanto, en una segunda instancia se cargaron 10 kg de aluminio reciclado lográndose la fusión en un tiempo de 65 minutos.

Recomendaciones

1. Investigar sobre diseños de hornos eléctricos por inducción para realizar fundiciones ferrosas.
2. Se recomienda la adquisición de un balón de GLP de 45 Kg, esto con el objetivo de mantener la presión en 9.96 mbar en el manómetro, ya que, al disminuir la presión en el

manómetro, el quemador suministra menor energía calorífica haciendo que la temperatura en el hogar o cámara de combustión disminuya.

3. El horno de crisol basculante teóricamente tiene una temperatura máxima de trabajo de 1500 °C, se recomienda desarrollar pruebas de fusión para aleaciones a base cobre o cobre reciclado, ya que estas funden a los 1084 °C.

Referencias Bibliográficas

Libros

Bertini, J (2017). Notas técnicas calidad de refractarios. *Revista del Idiem*.

Budynas, R. y Nisbett, J. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de shigley*. (8va Ed.). México: McGraw-Hill.

Castells, X. E. (2017). *Tratamiento y valoración energética de residuos*. (2da Ed.). España: Pearson educación.

Çengel, Y. A. (2007). *Transferencia de calor*, (3ra Ed.). México: McGraw-Hill.

Chang, R. (2013). *Química*, (Undécima Ed.). México: McGraw-Hill.

Duponchelle, J. (1952). *Manual del fundidor*. Barcelona, España: Gustavo Gili

Hernández, R. (2016). *Metodología de la investigación*. (3ra Ed.). México: McGraw-Hill.

Hibbeler, R. C. (2011). *Mecánica de materiales*, (8va Ed.). México: Pearson Educación.

Montes, J.M., Cuevas F.G. y Cintas J. (2014). *Ciencia de materiales*. (1ra Ed.). España: Montytexto.

Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. (4ta Ed.). México: Pearson Educación.

Norton, R. L. (2011). *Diseño de máquinas*. (4ta Ed.). México: Pearson Educación.

Ñaupas, H. (2015). *Metodología de la investigación*. (4ta Ed.). Bogotá: Ediciones de la U.

Vanegas, L. V. (2018). *Diseño de elementos de maquinarias*, (1ra Ed.). Colombia: Editorial Universidad Tecnológica de Pereira.

Viloche, J. H. (2019). *Gas glp propiedades y uso*. Recuperado de: <https://www.osinergmin.gob.pe>.

Tesis

- Aliaga, L. A. (2018). Diseño de un horno de fundición para la empresa SERTEC. (Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés). Recuperado de: <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/18779>. La Paz – Bolivia.
- Flores E. Y. y Orellana R.E. (2014). Diseño y construcción de un horno de crisol para aleaciones no ferrosas. (Tesis de grado, Universidad el Salvador). Recuperado de: <http://ri.ues.edu.sv>. El Salvador – América Central.
- Huillca, R. B. y Huillca, R. G. (2022). Diseño y fabricación de un módulo de casting para joyería. (Tesis de grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco). Recuperado de: <http://repositorio.unsaac.edu.pe>. Cusco – Perú.
- Pérez, F. J. y Soto A. E. (2019). Diseño, cálculo y construcción de un horno de fundición de aluminio tipo basculante y sus moldes. (Tesis de grado, Universidad de Pamplona). Recuperado de: <https://biblioteca.utb.edu.com>. Medellín – Colombia.
- Pillaca R. (2021). Diseño de un horno de crisol para la fundición de 600 kg de aluminio reciclado utilizando gas natural. (Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú). Recuperado de: <https://repositorio.pucp.edu.pe>. Lima – Perú.

Linkografía

- Aceros Arequipa. (2021). *Fichas técnicas de materiales metálicos*. <https://www.acerosarequipa.com>.
- ASLER & CIA. (2021). *Catálogo de quemadores a gas*. <https://www.aslerperu.com/>.
- Aguilar Scheffer J. (2019). Hornos metalúrgicos. https://recursosbiblio.url.edu.gt/Libros/2013/cmI/10-Hornos_industriales.pdf.
- Bonilla, A. (2019). *Herramientas de diseño e ingeniería*. Guía Tecnopyme. https://www.bizkaia.eus/Home2/Archivos/DPTO8/Temas/Pdf/ca_GTcapitulo1.pdf?hash=634c880023ee73f51cdbdf13efc3d282

- (2015-2021). *Calculador de tornillo sinfín y corona métricos*. Metal Mecánica Fácil. <https://www.metalmecanica-facil.mahtg.com/tsinfycor/calculador-tornillo-sinfín-y-corona.html>
- Chumaceras NTN Corporation. (2021). *Catálogo de chumaceras y rodamientos*. Catálogo general de industria. https://www.ntn-snr.com/sites/default/files/2017-05/snr_general_catalogue_es.pdf
- Crucibles and their Furnaces. (2018). Recuperado de: *Metal Casting Theory and Design*: <http://me401metalcasting.files.wordpress.com/2012/07/401-cruciblefurnaces.pdf>
- Fernandez, J. (2019). *Poder calorífico*. http://www.edutecne.utn.edu.ar/maquinas_termicas/01-poder_calorifico.pdf
- Ladrillos refractarios Frisac. (2021). *Fichas técnicas de materiales refractarios*. <https://www.frisac.pe/>
- Lagos, A. (2018). Notas técnicas calidad de los refractarios. https://www.academia.edu/40572630/II_NOTAS_TECNICAS_CALIDAD_DE_LOS_REFRACTARIOS.
- NTN Corporation (New Technology Network). (2009). México. https://www.ntn-snr.com/sites/default/files/2017-05/snr_general_catalogue_es.pdf.
- Nabertherm. (2021). *Productos industriales para fundición*. <https://nabertherm.com/es/productos/industria>.
- Ringegni, R. P. (2013). *Cálculo de uniones soldadas*. <https://docplayer>.
- Rodríguez, M. *Optimización de un proceso de fundición de aluminio*. <https://ri.itba.edu.ar/bitstream/handle/123456789/496/Rodr%C3%ADguezRieu.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Roatsa. (2021). *Catálogo de crisoles refractarios*. <https://www.termimex.com.mx/assets/crisoles-catalogo.pdf>.

Soldexa – Oerlikon. (2017). *Manual de soldadura*, (7ma Ed.). <http://fullseguridad.net/wp-content/uploads/2017/04/Descarga-manual-soldadura.pdf>

Sandmeyer Steel Company. (2021). *Propiedades del acero AISI 310*. <https://www.xftmetalsupply.com>

Stainless structurals. (2021). *Propiedades del acero Inox AISI 314*. <https://www.stainless-structurals.com>.

Standard Test Methods. (2019). *Clasificación de aceros según normas ASTM*. Recuperado de: <https://qdoc.tips/clasificacion-aceros-segun-la-norma-astm>.

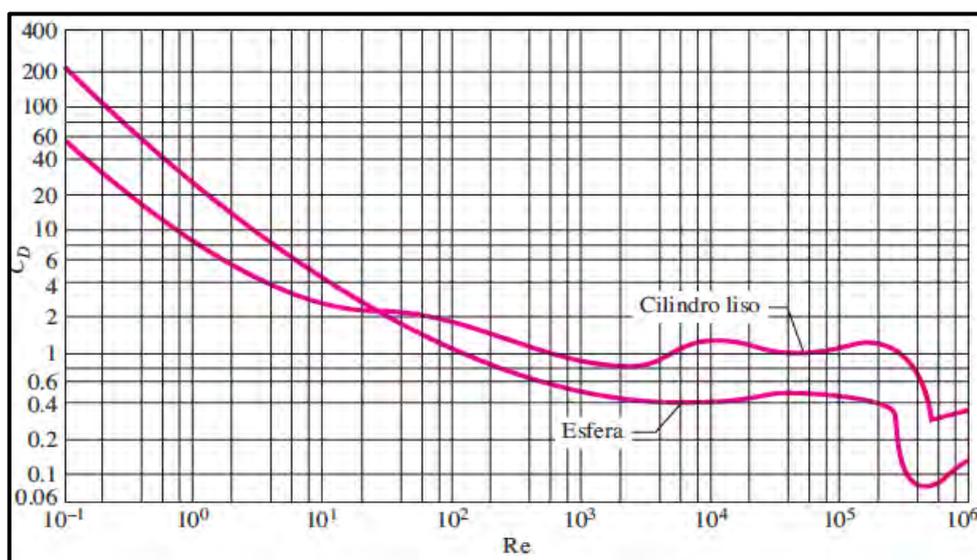
Uniones atornilladas. (2016). <https://upcommons.upc.edu>.

ANEXOS

Anexo 1: Propiedades térmicas de algunas aleaciones de acero.

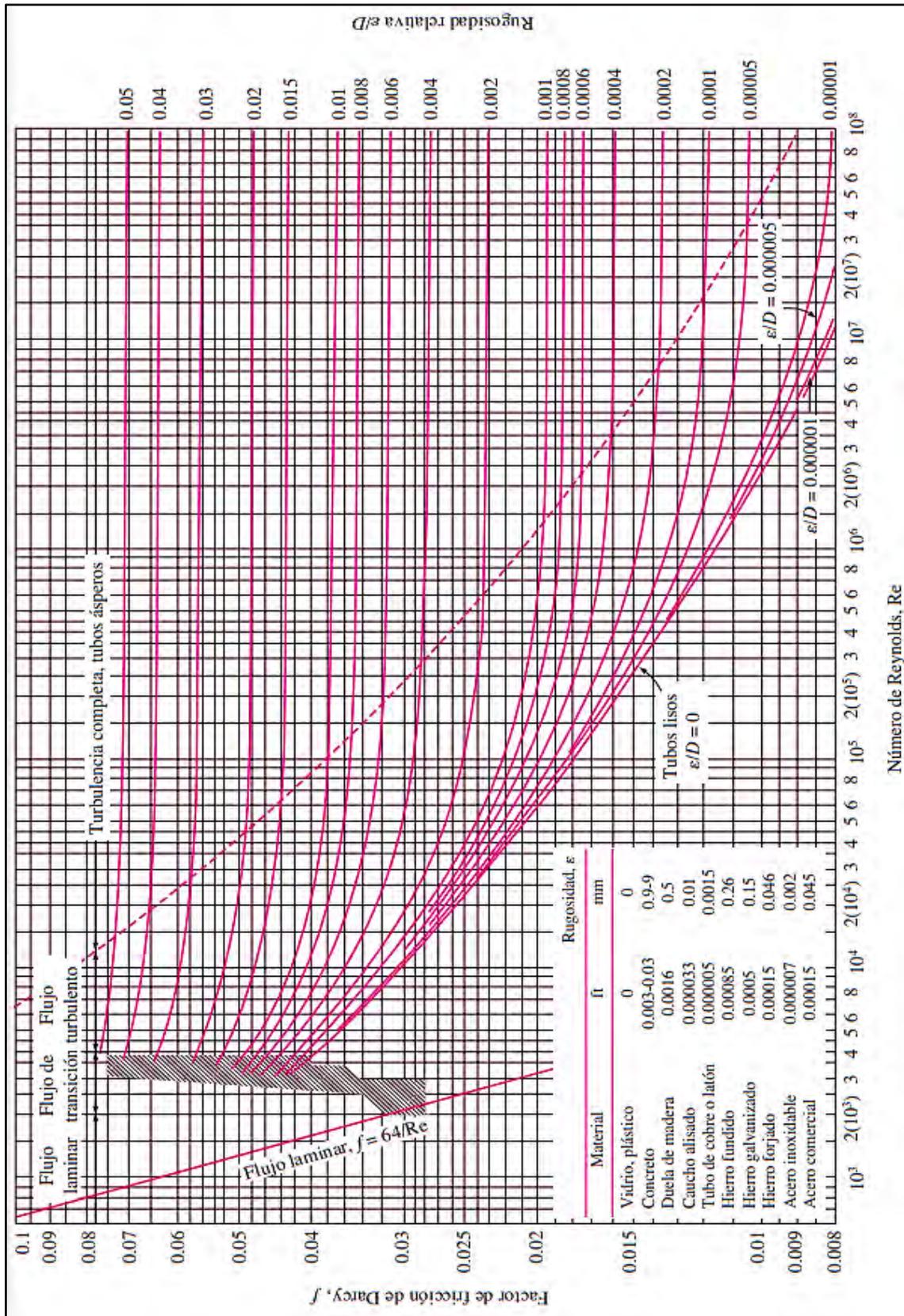
Propiedades a 20°C		Densidad ρ Kg/m ³	Calor especif J/kg°C	Conduct. k W/m°C	Difusividad $\alpha \times 10^5$ m ² /seg	Conductividad térmica en (W/m°C) a la temperatura en °C:													
Aleaciones	Composición					-100	0°C	100	200	300	400	600	800	1000					
Duraluminio	94-96% Al; 3-5% Cu	2787	833	164	6,680	126	159	182	194										
Siluminio	87% Al; 1,33% Si	2659	871	164	7,100	119	137	144	152	161									
Alusil	80% Al; 20% Si	2627	854	161	7,172	144	157	168	175	178									
Al-Mg-Si	97% Al; 1% Mg; 1% Si	2707	8922	177	7,311		175	189	204										
Bronce de aluminio	95% Cu; 5% Al	8666	410	83	2,330														
Bronce	75% Cu; 25% Sn	8666	343	26	0,860														
Latón rojo	85% Cu; 9% Sn; 6% Zn	8714	385	61	1,804		59	71											
Latón	70% Cu; 30% Zn	8522	385	111	3,412	88		128	144	147	147								
Plata alemana	62% Cu; 15% Ni; 22% Zn	8618	394	24,9	0,733	19,2		31	40	45	48								
Constantán	60% Cu; 40% Ni	8922	410	22,7	0,612	21		22	26										
Fundición	4% C	7272	420	52	1,702														
Acero al carbono	0,5% C	7833	465	54	1,474	55	52	48	45	42	35	31	29						
	1% C	7801	473	43	1,172	43	43	42	40	36	33	29	28						
	1,5% C	7753	486	36	0,970	36	36	36	35	33	31	28	28						
Acero al cromo	1% Cr	7865	460	61	1,665	62	55	52	47	42	36	33	33						
	5% Cr	7833	460	40	1,110	40	38	36	36	33	29	29	29						
	20% Cr	7689	460	40	1,11	22	22	22	22	24	24	26	29						
Acero al níquel	10% Ni	7945	460	26	0,720														
	20% Ni	7993	460	19	0,526														
	40% Ni	8169	460	10	0,279														
	60% Ni	8378	460	19	0,493														
	80% Ni	8618	0,46	35	0,872														
	Invar 36% Ni	8,137	460	10,7	0,286														

Nota: Tomado de Transferencia de calor y materia (p. 910), por Yenes, 2007.

Anexo 2: Coeficientes de resistencia al movimiento, C_D .

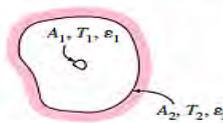
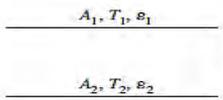
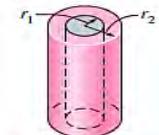
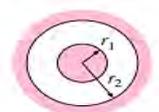
Nota: Tomado de Transferencia de calor y materia (p. 454), por Cengel, 2007.

Anexo 3: Diagrama de Moody.



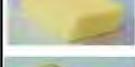
Nota: Tomado de Transferencia de calor y materia (p. 910), por Cengel, 2007.

Anexo 4: Disposiciones de superficies cerradas para la razón de transferencia de calor por radiación.

<p>Objeto pequeño en una cavidad grande</p>  $\frac{A_1}{A_2} \approx 0$ $F_{12} = 1$ $\dot{Q}_{12} = A_1 \sigma \epsilon_1 (T_1^4 - T_2^4) \quad (13-37)$
<p>Placas paralelas infinitamente grandes</p>  $A_1 = A_2 = A$ $F_{12} = 1$ $\dot{Q}_{12} = \frac{A \sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} \quad (13-38)$
<p>Cilindros concéntricos infinitamente largos</p>  $\frac{A_1}{A_2} = \frac{r_1}{r_2}$ $F_{12} = 1$ $\dot{Q}_{12} = \frac{A_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1 - \epsilon_2}{\epsilon_2} \frac{r_1}{r_2}} \quad (13-39)$
<p>Esféricas concéntricas</p>  $\frac{A_1}{A_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$ $F_{12} = 1$ $\dot{Q}_{12} = \frac{A_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1 - \epsilon_2}{\epsilon_2} \frac{r_1^2}{r_2^2}} \quad (13-40)$

Nota: Tomado de Transferencia de calor y materia (p. 431), por Cengel, 2007.

Anexo 5: Materiales aislantes térmicos.

	Denominación		Origen	Conductividad (k) (W/m.K)	Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua (μ)	Inflamable ¹	Peso aproximado (kg/m ³)	Formato	Medidas de protección en su instalación	Como temporero de protección (Mg/y)	Contenido de producto necesario (kg)	Biodegradable ²
	Lanas minerales (MW)	Lana de roca (SW)	Mineral	0,03 - 0,05	1	NO	<5	Panel, rollo y granel	Ojos, sistema respiratorio y piel	15 - 25	1	No
		Lana de vidrio (GW)	Mineral	0,03 - 0,05	1 - 1,3	NO	<5	Panel, rollo y a granel	Ojos, sistema respiratorio y piel	15 - 50	2	No
	Poliestireno expandido (EPS)		Sintético	0,029 - 0,053	20 - 40	SI	<5	Panel y granel	No	75 - 125	1	No
	Poliestireno extruido (XPS)		Sintético	0,025 - 0,04	100 - 220	SI	<15	Panel	Guantes	75 - 125	1	No
	Poliuretano o Polisocianurat o (PUR)		Sintético	0,019 - 0,040	60 - 150	SI	<10	Panel y espuma	Ojos, sistema respiratorio y piel	70 - 125	1	No
	Perlita Expandida (EPB)		Mineral	0,040 - 0,060	3 - 8	NO	<5	Panel, rollo, espuma y a granel	Protección frente al polvo	5 - 20	0	No
	Vidrio celular (CG)		Mineral	0,035 - 0,055	Infinita	NO	<60	Panel y espuma	No	10 - 75	3	SI

Nota: Tomado de Materiales aislantes (p.3), Ovacen, 2020.

Anexo 6: Ficha técnica de ladrillo refractario

CARACTERÍSTICAS:

- Muy alto contenido de mulita primaria y secundaria, por tanto, muy alta refractariedad.
- Excelente resistencia a la carga y al deslizamiento vertical ("creep") en caliente.
- Excelente resistencia al choque térmico.
- Excelente resistencia a la abrasión.
- Excelente resistencia al ataque de álcalis.

PRESENTACIÓN: Formas de cualquier tipo

CALIDAD	ANDUCITAL 60	ANDUCITAL 60 MCR	ANDUCITAL 70
Al ₂ O ₃ , %	59,7	62,0	69,3
Densidad, kg/m ³	159	162	163
Porosidad, %	16,2	15,0	14,0
MDR, MPa	12,0	13,5	14,5
RC, MPa	73,0	76,0	72,0
ΔL a 1300°C	0,3	0,2	0,0
ΔL a 1500°C	0,5	0,3	0,0
ΔL a 1700°C	-1,3	-1,0	-0,2
Temp. máx. operación, °C	1700	1720	1750
MDR: Módulo de rotura RC: resistencia a la compresión ΔL: Cambio lineal			

Nota: Tomado de ficha técnica – Frizac.

Anexo 7: Ficha técnica mortero Super Bond

MORTERO ALTA ALUMINA SUPER BOND

CLASIFICACIÓN:
De acuerdo a las normas de INTÉC 331.012 y ASTM C-84, el MORTERO SUPER BOND es un mortero de la clase Alta Alúmina, sub clase 50%, del tipo seco y con fragua al frío (al aire).

CARACTERÍSTICAS:
Es un mortero de amplio rango de aplicación, diseñado para desarrollar uniones muy fuertes en frío y que se mantiene seguras, herméticas o inalterables hasta su temperatura de operación. Puede instalarse por inmersión o con badilejo.

ANÁLISIS QUÍMICO

SiO ₂	44.5 %
Al ₂ O ₃	60.0 %
TiO ₂	1.2 %
Fe ₂ O ₃	1.1 %
CaO	0.1 %
MgO	0.2 %
Álcalis	4.1 %

PROPIEDADES FÍSICAS
El producto no funde ni fluye entre juntas cuando se calienta durante 5 horas a 1600 °C.

Cantidad de materia requerido para asentar 1,000 ladrillos 229. (9"):

Sumergidos con junta de badilejo.....182 kg
Puestos secos y luego enlucidos.....125 kg

Cantidad de agua requerida:

Sumergidos o con junta de badilejo13.5 LITROS/saco
Puestos secos y luego enlucidos.....15.5 LITROS/saco

Adherencia en frío:

Resistencia a la Flexión.....Kg/cm² (psi)
Secado a 110°C.....35 a 56 500 a 800

Nota: Tomado de ficha técnica – Frisac.

Anexo 8: Ficha técnica castable alta alúmina

CASTABLE ALTA ALUMINA STANDARD 60%	
CLASIFICACIÓN :	
De acuerdo a las normas de ITINTEC 331.004 y ASTM C-3.1, el SUPER ALTA ALUMINA 60% es un concreto refractario aluminoso, denso, de resistencia mecánica normal, de fragua hidráulica y perteneciente a la clase E.	
DESCRIPCIÓN:	
Concreto refractario formado a base de granos de BALXITA de clase super refractaria, mezclados con cemento de aluminato de calcio.	
ANÁLISIS QUÍMICO	
SiO ₂	29.2 %
Al ₂ O ₃	63.3 %
TiO ₂	2.0 %
Fe ₂ O ₃	1.8 %
CaO	1.8 %
Alcalis	0.9 %
PROPIEDADES FÍSICAS	
Temperatura máxima de servicio:	1649 °C
Cantidad de agua requerida para instalación:	
Vaciado y vibrado	2,162 Kg/m ³ (135 pcf)
Resistencia a la flexión.....Kg/cm ² (psi)	
Secado a 110 °C.....	28 a 49 400 a 700
Quemado a 816 °C.....	21 a 42 300 a 600
Quemado a 1650 °C.....	98 a 161 1,400 a 2,300
Densidad aparente:.....Gr/ cm ³ (pcf)	
Secado a 110 °C.....	2.31 a 2.35 144 a 146
Quemado a 816 °C.....	2.28 a 2.30 142 a 143

Nota: Tomado de ficha técnica – Frisac.

Anexo 9: Ficha técnica manta cerámica

Manta china			
FICHA TECNICA MANTA CERAMICA (1315°C)			
Principales Aplicaciones: <input checked="" type="checkbox"/> Aislamiento térmico de secadores y hornos comerciales. <input checked="" type="checkbox"/> Cobertura de refractarios existente. <input checked="" type="checkbox"/> Aislamiento de tratamiento térmico de alivio de tensiones. <input checked="" type="checkbox"/> Aislamiento de la cúpula de hornos de vidrio. <input checked="" type="checkbox"/> Protección contra incendios.			
Composición Química			
Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Ti ₂
44-55	50-56	0,1 -0,2	0,1-0,2
			

Nota: Tomado de ficha técnica – Frisac.

Anexo 10: Dimensiones de un crisol refractario.

TAMAÑO	AC STABIL		FORMA A
	H mm	D/d mm	
2	115	105/70	
4	145	120/80	
6	165	140/95	
8	185	155/105	
10	205	155/110	
14		170/130	
16	230	200/130	
20	255		
25	260	200/130	
30	290	230/155	
40	310	260/165	
50	330	270/175	
60	345	285/190	
70	360	295/200	
80	370	305/200	
90	380		
100	400	325/220	
120	410	345/235	
150	450	370/260	
200	500	400/280	
250	515	420/280	
300	540	440/265	
350	590	465/290	
400	600	510/360	
500	650	515/360	
600	680	550/360	
800	800	560/360	
1000	820		
1100	890	650/420	

TAMAÑO	AG GRAFIT	
	H mm	D/d mm
3	130	110/70

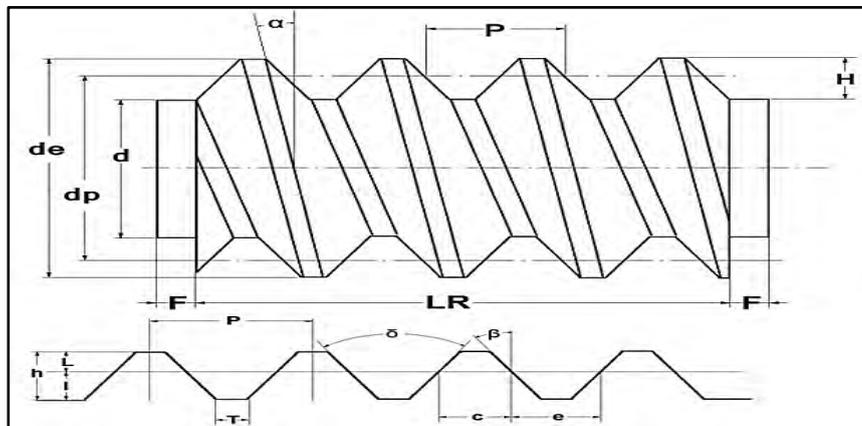
Nota: Tomado de ficha técnica – Roatsa.

Anexo 11: Ficha técnica del quemador modelo HSG 400.

Specifications	
200/400 GAS BURNER	
HSG 200 - 60M Btu/hr to 200M Btu/hr	
HSG 400 - 200M Btu/hr to 400M Btu/hr	
THE BLUE ANGEL™ POWER GAS BURNER - MODEL HSG	
Capacities	Firing rates from 60M through 400M Btu/hr.
Fuel	Natural or LP Gas 2" to 4" water column - adjustable.
Controls	24-volt combination control 3/4" IPS, with redundant valve. Flamerod sensor 4 second safety shutdown.
Ignition	Direct spark ignition 7300-volt ignition transformer. Remove top cover for easy access to ignition components.
Motor	3450 RPM – 115V – 2.4A.
Fan Housing	Aluminum alloy, die cast housing. Maintains alignment of all moving parts throughout the lifetime of the burner.
Mounting	Adjustable flange (pedestal mount available.)
Air Tube	4" OD available in standard lengths of 6", 9" and 12".
Combustion Head	Stainless steel, precision stamping. No change for entire firing range.

Nota: Tomado de Catálogo de quemadores a gas (p. 2), por ASLER & CIA, 2021.

Anexo 12: Nomenclatura del tornillo sinfín – corona.



Nota: Programa calculador de tornillo sinfín y corona métricos.

Anexo 13: Diámetros recomendados para manufactura de coronas.

Φ	$N_{m/m}$
14.5	35
17.5	27
20	21
22.5	17
25	14
27.5	12
30	10

Nota: Tomado de Diseño de máquinas (p. 665), por Robert, 2011.

Anexo 14: Distancia entre centros.

NÚMERO DE DIENTES RECOMENDADO PARA LA HUSDA DENTADA		
DISTANCIA ENTRE CENTROS (mm)	TIPO DE LINDRIDO	TIPO DE DIENTE GARGANTA.
	Mínimo	Recomendado
50	20	25
75	25	30
100	30	35
125	35	40
200	40	50
250	45	60
300	50	70
500	60	80
610	70	90

Nota: Tomado de Diseño de elementos de máquinas (p. 314), por Robert, 2006.

Anexo 15: Factores de seguridad.

ACERO, METALES DÚCTILES		HIERRO FUNDIDO, METALES FRÁGILES	MADERA DE CONSTRUCCIÓN
Basado en la resistencia máxima*	Basado en la resistencia de fluencia**	Basado en la resistencia máxima [†]	
3-4	1.5-2	5-6	7

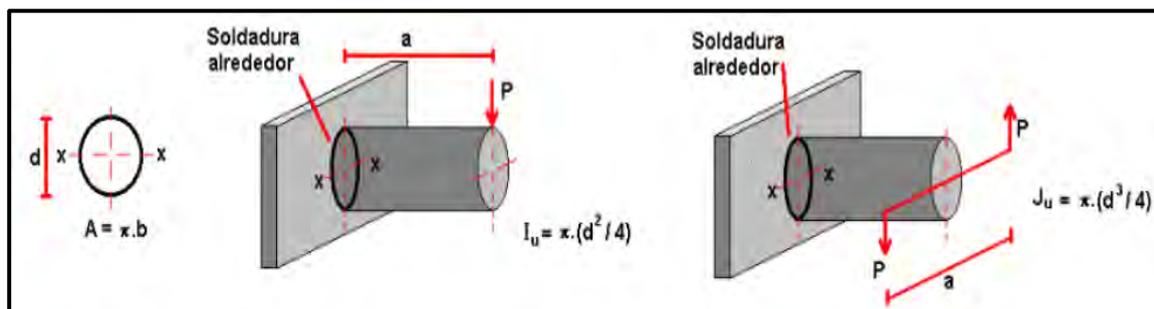
Nota: Tomado de Diseño de elementos de maquinarias (p. 78), por Vanegas, 2018.

Anexo 16: Propiedades mecánicas de algunos aceros.

Nº AISI	ESTADO	Res. Máxima Su		Res. Fluencia Sy		Dureza
		Kgf/Cm ²	Ksi	Kgf/Cm ²	Ksi	BHN
Hierro Dulce	Laminado simple	3374	48	1757	25	
C1010	Estrado en Frio	4710	67	3867	55	137
C1015	Estrado en Frio	5413	77	4429	63	170
C1020	Laminado Simple	4569	65	3374	48	143
C1020	Normalizado	4199	61	3515	50	131
C1020	Recocido	4007	57	2952	42	111
C1020	Estrado en Frio	5483	78	4640	66	156
C1022	Laminado simple	5062	72	3656	52	149
C1030	Laminado simple	5621	80	3586	51	179
C1035	Laminado simple	5976	85	3867	55	190
C1045	Laminado simple	6749	96	4148	59	215
C1095	Normalizado	9913	141	5624	80	285

Nota: Tomado de Diseño de elementos de maquinarias (p. 78), por Vanegas, 2018.

Anexo 17: Momento resistente unitario y momento polar de inercia.



Nota: Tomado de Cálculo de uniones soldadas (p.21), por Ringegni, 2013.

Anexo 18: Ficha técnica de chumacera tipo puente con tornillo de fijación

UCP2										
Chumacera tipo puente, alojamiento de acero fundido Con tornillo de fijación (Prisionero)										
Tipo con guardapolvo de acero prensado Extremo abierto: S-UCP...D1 Extremo cerrado: SM-UCP...D1										
Diámetro del eje	Número ¹⁾ de la del del chumacera perno rodamiento		Dimensiones nominales Tamaño Número							
	mm	mm	H	L	J	A	N	N _H	H ₁ L ₁ B	S
pulg.	pulg.	pulg.								
12	UCP201D1	30.2 127	95 38 13 16 14 62 42 31 12.7	M10	UC201D1					
1/2	UCP201-008D1	1 3/16 5	3 3/4 1 1/2 1/2 5/8 9/16 2 7/16 1 21/32	1.2205	0.500	3/8	UC201-008D1			
15	UCP202D1	30.2 127	95 38 13 16 14 62 42 31 12.7	M10	UC202D1					
9/16	UCP202-009D1	1 3/16 5	3 3/4 1 1/2 1/2 5/8 9/16 2 7/16 1 21/32	1.2205	0.500	3/8	UC202-009D1			
5/8	UCP202-010D1	UC202-010D1								
17	UCP203D1	30.2 127	95 38 13 16 14 62 42 31 12.7	M10	UC203D1					
1 1/16	UCP203-011D1	1 3/16 5	3 3/4 1 1/2 1/2 5/8 9/16 2 7/16 1 21/32	1.2205	0.500	3/8	UC203-011D1			
20	UCP204D1	33.3 127	95 38 13 16 14 65 42 31 12.7	M10	UC204D1					
3/4	UCP204-012D1	1 5/16 5	3 3/4 1 1/2 1/2 5/8 9/16 2 9/16 1 21/32	1.2205	0.500	3/8	UC204-012D1			
25	UCP205D1	36.5 140	105 38 13 16 15 71 42 34.1 14.3	M10	UC205D1					
1 3/16	UCP205-013D1	UC205-013D1								
7/8	UCP205-014D1	1 7/8 5 1/2	4 1/8 1 1/2 1/2 5/8 1 9/32 2 25/32 1 21/32	1.3425	0.563	3/8	UC205-014D1			
1 5/16	UCP205-015D1	UC205-015D1								
1	UCP205-100D1	UC205-100D1								
30	UCP206D1	42.9 165	121 48 17 20 17 83 54 38.1 15.9	M14	UC206D1					
1 1/16	UCP206-101D1	UC206-101D1								
1 1/8	UCP206-102D1	1 1/8 6 1/2	4 3/4 1 1/8 2 1/32 2 25/32 2 21/32 3 9/32 2 1/8	1.5000	0.626	1/2	UC206-102D1			
1 3/16	UCP206-103D1	UC206-103D1								
1 1/4	UCP206-104D1	UC206-104D1								
36	UCP207D1	47.6 167	127 48 17 20 18 93 54 42.9 17.5	M14	UC207D1					
1 1/4	UCP207-104D1	UC207-104D1								
1 3/8	UCP207-105D1	1 3/8 6 9/16	5 1 7/8 2 1/32 2 25/32 2 23/32 3 21/32 2 1/8	1.6890	0.689	1/2	UC207-105D1			
1 3/8	UCP207-106D1	UC207-106D1								
1 7/16	UCP207-107D1	UC207-107D1								
40	UCP208D1	49.2 184	137 54 17 20 18 98 52 49.2 19	M14	UC208D1					
1 1/2	UCP208-108D1	1 1/2 7 1/4	5 13/32 2 1/8 2 1/32 2 25/32 2 23/32 3 27/32 2 1/16	1.9370	0.748	1/2	UC208-108D1			
1 9/16	UCP208-109D1	UC208-109D1								
45	UCP209D1	54 190	146 54 17 20 20 106 60 49.2 19	M14	UC209D1					
1 5/8	UCP209-110D1	UC209-110D1								
1 11/16	UCP209-111D1	2 1/8 7 15/32	5 3/4 2 1/8 2 1/32 2 25/32 2 25/32 4 3/16 2 3/8	1.9370	0.748	1/2	UC209-111D1			
1 3/4	UCP209-112D1	UC209-112D1								

Nota: Tomado de Catálogo de chumaceras NTN Corporation (p. 60), 2021.

Anexo 19: Ficha técnica plancha de acero

Laminados en Caliente

BOBINAS Y PLANCHAS LAC

DENOMINACIÓN:
BLAC A36, PLAC A36.

DESCRIPCIÓN:
Bobinas y Planchas de acero laminadas en caliente con bordes de laminación.

USOS:
Se usa en la fabricación de tubos, perfiles plegados, asimismo luego de su corte en planchas, se emplea en la construcción de silos, carrocerías y construcción en general.

NORMAS TÉCNICAS:

DESIGNACIÓN	NORMAS TÉCNICAS
Estructural	ASTM A36 y Dimensiones según JIS G3193-2008

COMPOSICIÓN QUÍMICA (%):

CALIDAD ASTM	%C	%Mn MÁX.	%P MÁX.	%S MÁX.	SI MÁX.
A36	0.25 máx.	-	0.040	0.050	0.40

PLANCHAS LAMINADAS EN CALIENTE (PLAC A36):

DIMENSIONES (mm)	PESO TEÓRICO EN kg/plancha				TOLERANCIA EN EL ESPESOR (mm)	ESPESOR EQUIVALENTE O APROXIMADO
	1,200 x 2,400 (mm)	1,200 x 6,000 (mm)	1,500 x 6,000 (mm)	2,400 x 6,000 (mm)		
1.5*	33.91				±0.18	1/16"
1.8*	40.69				±0.19	9/128"
1.9*	42.96				±0.19	9/128"
2.0*	45.22	113.04			±0.20	5/64"
2.2*	49.74	124.34			±0.20	2/23"
2.3*	52	130			±0.20	1/11"
2.4*	54.26	135.65			±0.20	3/32"
2.5*	56.52	141.3			±0.22	3/32"
2.9*	65.56	163.91			±0.22	1/8"
3.0*			211.95		±0.22	1/8"
3.9*	88.17	220.43			±0.24	5/32"
4.0*			282.6		±0.45	5/32"
4.4*	99.48	248.69			±0.45	3/16"
4.5*			317.93		±0.45	3/16"
4.8*			339.12		±0.45	3/16"
5.0*				565.20	±0.50	3/16"
5.9*	133.39	333.47			±0.50	1/4"

Nota: Tomado de Fichas técnicas (p. 12), por Aceros Arequipa, 2021.

Anexo 20: Ficha técnica platina

Platinas

NORMAS TÉCNICAS
 · Propiedades Mecánicas: ASTM A36/A36M y NTP 350.400
 · Tolerancias Dimensionales: ASTM A6/A6M y NTP 241.105

PRESENTACIÓN
 Se comercializa en barras de 6 metros de longitud.
 Se suministra en paquetes de 1 t.

USOS
 En la fabricación de estructuras metálicas, puertas, ventanas, rejas, piezas forjadas y otros.

PROPIEDADES MECÁNICAS
 Límite de Fluencia mínimo = 250 Mpa (2,530 kg/cm²) mínimo
 Resistencia a la Tracción = 450 - 550 Mpa (4,080-5,620 kg/cm²)
 Alargamiento en 200 mm:
 1/8" y 3/16" = 15.0% mínimo
 1/4" = 17.5% mínimo
 5/16, 3/8", 5/8", 3/4" y 1" = 20.0% mínimo
 Doblado a 180° = Bueno
 Soldabilidad = Buena

DIMENSIONES
 Sistema Inglés (pulgadas)

1/8 x 1/2	1/4 x 1	1/2 x 3
1/8 x 3/4	1/4 x 1 1/4	1/2 x 4
1/8 x 1	1/4 x 1 1/2	5/8 x 4
1/8 x 1 1/4	1/4 x 2	3/4 x 4
1/8 x 1 1/2	1/4 x 2 1/2	1 x 4
1/8 x 2	1/4 x 3	3/8 x 5
3/16 x 1/2	1/4 x 4	3/8 x 6
3/16 x 5/8	3/8 x 1	1/2 x 5
3/16 x 3/4	3/8 x 1 1/4	1/2 x 6
3/16 x 1	3/8 x 1 1/2	5/8 x 5
3/16 x 1 1/4	3/8 x 2	5/8 x 6
3/16 x 1 1/2	3/8 x 2 1/2	3/4 x 5
3/16 x 2	3/8 x 3	3/4 x 6
3/16 x 2 1/2	3/8 x 4	1 x 5
3/16 x 3	1/2 x 1 1/2	1 x 6
1/4 x 5/8	1/2 x 2	
1/4 x 3/4	1/2 x 2 1/2	



Nota: Tomado de Fichas técnicas (p. 10), por Aceros Arequipa, 2021.

Anexo 21: Ficha técnica barra redonda lisa

Barras Redondas Lisas y Pulidas



NORMAS TÉCNICAS

Composición Química y Propiedades Mecánicas:
SAE J403 (1045), ASTM A36 / A36M, y NTP 350.400

Tolerancias Dimensionales:
 *Barras de diámetros ≤ a 1 1/8": ISO 1035/4 y NTP 241.105
 *Barras de diámetros > a 1 1/8": ASTM A6 y NTP 241.105

USOS

Calidad SAE 1045: Pernos y tuercas por recalcado en caliente o mecanizado, ejes, pines, pasadores, etc.

Calidad ASTM A36: Estructuras metálicas, puertas, ventanas, rejas, cercos, barras de transferencia para pavimento rígido, etc.
También para recalcado y mecanizado.

PRESENTACIÓN

- * Se comercializa en longitudes de 6 metros. En otras longitudes solo a pedido del cliente.
- * Las barras de diámetros mayores a 1", son suministradas en estado laminado en caliente y posteriormente pulidas (según requerimiento del cliente).
- * Se suministran en paquetes de 1 t.
- * La calidad 1045 se identifica en los extremos, pintando la mitad de la sección con color negro.
- * La calidad A36 se identifica en los extremos, pintando la mitad de la sección con color verde y la otra mitad con color negro.

PROPIEDADES MECÁNICAS

Límite de Fluencia mínimo Resistencia a la Tracción Alargamiento en 200 mm	ASTM A36: = 250 MPa (2,530 kg/cm ²) = 400 - 550 MPa (4,080 - 5,620 kg/cm ²) = 20.0% mínimo	SAE 1045*: = 390 - 540 MPa (4,000 - 5,500 kg/cm ²) = 650 - 800 MPa (6,700 - 8,200 kg/cm ²) = 12.0% mínimo
--	--	---

DIMENSIONES

REDONDO LISO		REDONDO PULIDO	
Diámetro nominal (pulgadas)		Diámetro nominal (pulgadas)	
3/8	1	1 1/8	1 3/4
1/2	1 1/4	1 1/4	2
5/8	1 3/8	1 1/2	2 1/2
3/4	2		
7/8	2 1/4		

Nota: Tomado de Fichas técnicas (p. 13), por Aceros Arequipa, 2021.

Anexo 22: Ficha técnica de angular estructural



NORMAS TÉCNICAS

Composición Química y Propiedades Mecánicas: ASTM A36 / A36M, ASTM A572/A572M, NTP 350.400 y NTP 350.408.
Tolerancias Dimensionales: ASTM A6/A6M y NTP 241.105.

USOS

Para la fabricación de estructuras de acero en plantas industriales, almacenes, techados de grandes luces, industrial naval, carrocerías, torres de transmisión. También se pueden utilizar para la fabricación de puertas, ventanas, rejas, etc.

PRESENTACIÓN

Se comercializa en longitudes de 6 m. Se suministra en paquetes de 1 t.

PROPIEDADES MECÁNICAS

Límite de Fluencia mínimo Resistencia a la Tracción Alargamiento en 200 mm: 3/32", 1/8" y 3/16" 1/4" 5/16", 3/8" y 1/2" Soldabilidad	= 345 MPa (3,520 kg/cm ²) = 450 - 550 MPa (4,590 - 5,620 kg/cm ²) = 15.0% mínimo = 17.5% mínimo = 20.0% mínimo = Buena
--	---

DIMENSIONES

Sistema Inglés (pulgadas)

1 1/2 x 1 1/2 x 3/32
1 1/2 x 1 1/2 x 1/8
1 1/2 x 1 1/2 x 3/16
1 1/2 x 1 1/2 x 1/4
2 x 2 x 1/8
2 x 2 x 3/16
2 x 2 x 1/4
2 x 2 x 3/8
2 1/2 x 2 1/2 x 3/16
2 1/2 x 2 1/2 x 1/4
2 1/2 x 2 1/2 x 3/8
3 x 3 x 1/4
3 x 3 x 5/16
3 x 3 x 3/8
3 x 3 x 1/2
4 x 4 x 1/4
4 x 4 x 5/16
4 x 4 x 3/8
4 x 4 x 1/2

Nota: Tomado de Fichas técnicas (p. 15), por Aceros Arequipa, 2021.

Anexo 23: Ficha técnica tubo de acero

Tubo LAC ASTM A500



Tubo fabricado con acero al carbono laminado en caliente (LAC), utilizando el sistema de soldadura de resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal (ERW).
Las secciones de fabricación son redondas, cuadradas y rectangulares.

NORMAS TÉCNICAS
Las propiedades mecánicas, dimensiones, pesos y espesores se fabrican según la norma ASTM A500 - Grados A y B según lo solicitado.

USOS
Diversas estructuras livianas y pesadas, correcerías, tijerales, postes, etc.

PRESENTACIÓN

1. Longitud:

- Redondos: 6.40 m y 6 m.
- Cuadrados y rectangulares: 6 m.
- Otras longitudes a pedido.

2. Acabado de extremos: Refrentado (plano),
limpios de rebordes.

PROPIEDADES MECÁNICAS

Sección	Norma técnica		Grado	Límite de fluencia (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Elongación mínima
	Del tubo	Del acero				
Redondo	ASTM A 500/A 500 M	ASTM A 500 GRADO A	A	228	310	25
		ASTM A 1011 CS TIPO B		-	□ 290	□ 25
Cuadrado	ASTM A 500/A 500 M	ASTM A 500 GRADO A	A	269	310	25
		ASTM A 1011 CS TIPO B		-	□ 290	□ 25
Rectángulo	ASTM A 500/A 500 M	ASTM A 500 GRADO A	B	269	310	25
		ASTM A 1011 CS TIPO B		-	□ 290	□ 25

Nota: Tomado de Fichas técnicas (p. 17), por Aceros Arequipa, 2021.

APENDICE A

SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE INGRESO PARA TESISISTAS AL LABORATORIO DE LA E.P. DE INGENIERÍA METALÚRGICA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

"Año del Bicentenario del Perú: 200 Años de la Independencia"

Cusco, 01 de diciembre del 2021

Oficio Virtual N° 899 -2021-VRIN-UNSAAC

Señor:
ECON. MENELIO CRUZ NUÑEZ
Jefe de la Unidad de Talento Humano
Presente.-

Asunto : SOLICITA AUTORIZACIÓN DE INGRESO PARA TESISISTAS A LABORATORIOS DE LA E.P. DE INGENIERÍA METALÚRGICA

Referencia : EXP. 381252 CARTA DE FECHA 29 DE NOVIEMBRE 2021 OFICIO N°111-2021-VRIN-DGI-JLCM

Tengo el agrado de dirigirme a usted, para saludarle y a la vez en atención al documento de la referencia, mucho estimo que tenga a bien disponer a quien corresponda la autorización de ingreso para Tesisistas a los Laboratorios de la E.P. de Ingeniería Metalúrgica del 30 de noviembre al 30 de diciembre del año en curso de 08:00 a.m. a 15:00 horas. Debo mencionar, que se cumplirá estrictamente los protocolos de bioseguridad.

1. Bryan Pfuero Romero	DNI 70523867	TESISTA
2. Marcoberito Antay Layme	DNI 43109011	TESISTA
3. Daniel Larota Suma	DNI 72350207	TESISTA
4. Yorman José Alosilla Rodríguez	DNI 70415658	TESISTA

Agradeciéndole anticipadamente por su gentil atención, hago propicia la ocasión para reiterarle las muestras de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

DR. ROBERTO ACURIO CANAL
Vicerrector de Investigación

APENDICE B

INVERSIÓN TOTAL

1.1 Tabla de inversión total

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO/U (S/)	COSTO TOTAL (S/)
Crisol de carburo de silicio 50 kg Unicstar Mars Alemán	1	606.29	606.29
Materiales refractarios e aislante térmico	-----	889.48	889.48
Quemador a gas HSG 400	1	5 513.00	5 513.00
Mecanizado del tornillo sinfin – corona	-----	580.00	580.00
Tubo rectangular negro	1	183.30	183.30
Platina de acero	1	73.00	73.00
Plancha metálica de acero	1	2640.00	264.00
Servicios de corte y rolado	-----	100.00	100.00
Pernos o sujeciones	12	52.80	52.80
Electrodos y disco de corte	-----	39.50	39.50
Esmalte anticorrosivo	1	36.00	36.00
Servicios de flete interdepartamental	-----	220.00	220.00
Servicios de grúa y transporte hacia el laboratorio de fundición y moldeo	-----	300.00	300.00
Pirómetro infrarrojo	1	220.00	220.00
Pintura anticorrosiva – thinner	-----	100.00	100.00
Balón de gas	2	56.00	112.00
Mano de obra calificada	-----	500.00	500.00
Otros	-----	400.00	400.00
INVERSIÓN TOTAL			10 189.37

Nota: Elaboración propia.

APENDICE C

COTIZACION Y BOLETAS DE COMPRAVENTA

1. Cotización crisol de carburo de silicio.

Roberto A. Torres S.A.
Av. Prolongación Defensores del Morro 222 - Chorrillos Telef: 613-1131
Email: ventas@roatsa.com

COTIZACION

Señores: **BRYAN PFURO**

Atención: **DPTO DE COMPRAS**

Numero:	SP-5701A
Fecha de emisión:	28/01/2021
N° Requerimiento	crisol

Estimado Sr.

De acuerdo a lo solicitado presentamos a uds.nuestra mejor cotización :

Item	Cant.	Und. Med.	Descripción	Precio Unit US\$	Precio Total US\$	Entrega
						Disponibilidad
1	1	UND	CRISOL CARBURO SILICIO AXO- 50 UNICSTAR XO MARS ALEMAN	135.21	135.21	inmediata
				SubTotal (us\$)	135.21	
				IGV	24.34	
				Total US\$	159.55	

2. Factura de quemador a gas HSG 400

ASLER Y CIA S.R.Ltda.
Jr. Huamachuco N° 1514 - Jesús María - Lima - Lima - PERÚ
Tel: (01) 424 0107 / Cel.: 999 444 686
E-mail: ventas@aslerperu.com - www.aslerperu.com

**QUEMADORES
CAPACITACIONES
MANTENIMIENTO
CALDERAS
VÁLVULAS**

R.U.C. 20330525291

GUIA DE REMISION - REMITENTE

0001- **N° 0003303**

F. de Emisión: 21 de Mayo de 2021 F. Inicio de Traslado: 21 de Mayo de 2021

Punto de Partida: Jr. Huamachuco 1514 - Jesús María Lima Lima

Punto de Llegada: CO

Costo Mínimo:

UNIDAD DE TRANSPORTE Y CONDUCTOR

Marca y N° de placa: N° de Const. de Inscripción.

N° (s) de Licencia(s) de Conducir:

DESTINATARIO

APELLIDOS Y NOMBRES / RAZON SOCIAL: **BRYAN PFURO ROMERO** DNI 70523867

R.U.C.:

EMPRESA DE TRANSPORTES

APELLIDOS Y NOMBRES / RAZON SOCIAL:

R.U.C.:

CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	PESO TOTAL
	QUEMADOR GAS MOD HSG400, MARCA WAYNE USA 110 VOLT	1	UND	
	TRANSFORMADOR, 220V-110V. 500VA AUDAX	1	UND	
	BOLETA N° EB01-42			

MOTIVO DEL TRASLADO

1. Venta	<input checked="" type="checkbox"/>	4. Consignación	<input type="checkbox"/>	7. Para Transformación	<input type="checkbox"/>	10. Zona Primaria	<input type="checkbox"/>
2. Venta sujeta a confirmar	<input type="checkbox"/>	5. Devolución	<input type="checkbox"/>	8. Recojo bienes transformados	<input type="checkbox"/>	11. Importación	<input type="checkbox"/>
3. Compra	<input type="checkbox"/>	6. Entre establecimientos de una misma empresa	<input type="checkbox"/>	9. Emisor Itinerante	<input type="checkbox"/>	12. Exportación	<input type="checkbox"/>

Tipo y N° de Comprobante de pago

FABRILAY S.A.
R.U.C. 20801387487
Serv: 0107 del 3291 al 3299
Aut. 1453231023, El. 27-11-2020

H

VPS

DESTINATARIO

5. Boleta de plancha metálica más operaciones de corte.


 AV. THOMAS PUMPU 1449 - WANCHAQ - CUSCO
 TEL: 244111 - 244112 - 244219
 EMAIL: comercial@aguardo.com.pe

FACTURA ELECTRONICA

N° F006-0023342

EMISION : 2021-03-30
 SR(S) : ANTAY LAYME MARCHERTO

DIRECC. : URB. PRIMERO DE MAYO - 1.3.30 MZ. C
 CUSCO-CUSCO-CUSCO

RUC : 10431090118

CANT. UNID.	DESCRIPCION	P.U.	VALOR UNIT.
01	PLANCHAS ACERADAS 100x200x3	364.70	364.70
V. Base:	0.00	V. VENTA:	364.70
V. IGV:	0.00	I.G.V.:	55.24
V. Total:	0.00	V. VENTA:	S/. 364.70

--- CUCHILLA --- HERRAMIENTAS Y CUCHILLAS 70-100 ---
 Marca :
 Peso aprox : 86.42 Kg
 Altura :
 Velocidad : 50% Hora : 11:18

CAS

30 MAR 2021

6. Factura de pernos

PERNOCENTRO VMA E.I.R.L.
PERNOS - ACERADOS - MILIMETRICOS - CUCHILLA - PRISIONERO - ARADO - SOCKET
 HERRAMIENTAS: STANLEY - BAHCO - TRUPER - IRWIN - TRANMONTINA - RIDGID,
 BOSCH - DEWALT - BLACK & DECKER - CROWN - MAXITA
 GATAS - BROCAS - MACHOS - ASBESTOS - VITORITE - MANGUERAS - DRIZAS DE NYLON
 CABLES DE ACERO - GRILLETES - GUARDACABOS - TEMPLADORES - CADENAS
 FERRETERIA EN GENERAL - VENTAS POR MAYOR Y MENOR

AV. MANCO CCAPAC Nº 406 - WANCHAQ - TELF. 084-261748 CEL.: 984 529119

Nombre: _____

Fecha

Nº 0029154

NOTA DE PEDIDO

COTIZACION

V E

CANT.	DESCRIPCION	P. UNITARIO	TOTAL
1	8 P. 5/16 x 4 +TC 6°B	5.20	41.60
2	4 P. 1/2 x 3 +TC 6°B	2.80	11.20
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
TOTAL S/			52.80

7. Factura del mecanizado del tornillo sinfín – corona

Torneria "Peña"
 SERVICIO DE TORNO, SOLDADURA ESPECIALES, BOMBAS DE AGUA, FABRICACIÓN DE MANGUERAS AGRO INDUSTRIALES, SERVICIO DE PANTOGRAFÍA

RECIBO DE VENTA
N° 000111

AV. MANCO CAPAC N° 719 WANCHAQ CEL.: 957 232698

SEÑOR(ES): _____
 DIRECCION: _____ Cel.: _____

DIA	MES	AÑO
29	02	21

CANT.	DESCRIPCION	P. UNIT.	IMPORTE
	REPRODUCCION DE CORONA SINFIN		580.00
	CINCO MUESTRAS SEGUN MUESTRO Y MEDIDAS		

Gracias por su Preferencia

A CUENTA SI. 300.00 SALDO SI. 280.00 TOTAL SI. 580.00

8. Factura de electrodos y disco de corte

PUNTO AZUL E.I.R.L.
 La Casa del Soldador

Sucursal: Av. Pachacutec N° 697 -
 Wanchaq - Cusco. Telf: (04) 296031
 E-mail: representacionespuntoazul@gmail.com

R.U.C. N° 20603655461
 BOLETA DE VENTA ELECTRONICA
 B001 - 0006596

Destituidor de Soldaduras Doradas, Modernas Huanuco, S.M., Motores Honda, Varillas de Coralescolin - Capacitorie y herramientas en general.
 Domicilio legal: Av. Javier Prado Este N° 1574 Ofic. 801 Urb. Corped Lima - Lima - San Diego

Sr. (es): BRYAN CUIRO ROMERO
 Dirección: _____
 DNI: _____ Fecha emisión : 30/03/2021

CANT.	LIND.	DESCRIPCION	P. UNITARIO	TOTAL
0.25	KG	SOLDADURA TENACITO 80 X 328MM-1/8"	32.00	8.00
1.00	UNO	DISCO DE CORTE WORTON 7" X 1/16" X 3/8"	7.50	7.50

9. Factura de flete

																											
EXPRESO INTERNACIONAL PALOMINO SAC <small>AV. NICOLAS ARRIOLA N° 910 LA VICTORIA - LIMA RUC: 20417931393</small>		EXPRESO INTERNACIONAL PALOMINO SAC <small>AV. NICOLAS ARRIOLA N° 910 LA VICTORIA - LIMA RUC: 20417931393</small>																									
BOLETA DE VENTA ELECTRONICA		ENTREGA DE ENCOMIENDA																									
B264-0005118		B271-0008841																									
Fecha de Emision: 21/05/2021		Fecha Emision: 11/06/2021																									
Destino: CUSCO TERRAPUERTO		Origen: LUNA PIZARRO																									
F. Pago: POR PAGAR		Destino: CUSCO TERRAPUERTO																									
Envio por: CARGUERO		Bus: 7018																									
Cliente Remitente:		F. Pago: POR PAGAR																									
DNI: 70523867		Cliente / Remitente:																									
BRYAN ROMERO PFURO		DNI: 70523867																									
BRYAN ROMERO PFURO		BRYAN ROMERO PFURO																									
BRYAN ROMERO PFURO		Consignado:																									
BRYAN ROMERO PFURO		BRYAN ROMERO PFURO																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>CANT</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>TOTAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>01</td> <td>CAJA BLANCA PL.</td> <td>20.00</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Kg: 19.00</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">TOTAL (\$):</td> <td>20.00</td> </tr> </tbody> </table>		CANT	DESCRIPCION	TOTAL	01	CAJA BLANCA PL.	20.00		Kg: 19.00		TOTAL (\$):		20.00	<table border="1"> <thead> <tr> <th>CANT</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>TOTAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>01</td> <td>CAJETA PLAST</td> <td>12.00</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Kg: 2.00</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">TOTAL (\$/):</td> <td>12.00</td> </tr> </tbody> </table>		CANT	DESCRIPCION	TOTAL	01	CAJETA PLAST	12.00		Kg: 2.00		TOTAL (\$/):		12.00
CANT	DESCRIPCION	TOTAL																									
01	CAJA BLANCA PL.	20.00																									
	Kg: 19.00																										
TOTAL (\$):		20.00																									
CANT	DESCRIPCION	TOTAL																									
01	CAJETA PLAST	12.00																									
	Kg: 2.00																										
TOTAL (\$/):		12.00																									
SOND: VEINTE Y 00/100 Soles		SOND: Y 00/100 SOLES																									
Agencia: LUNA PIZARRO		Agencia: CUSCO TERRA																									
Uso Reg: BRYAN ROMERO		Uso Reg: GALVAEZ																									
Fecha: 21/05/2021		Fecha: 11/06/2021																									

10. Cotización de materiales refractarios

		FABRICA DE REFRACTARIOS INDUSTRIALES S.A.C		
<p style="text-align: right;">Lima, 13 de Enero de 2021</p> <p style="text-align: right;">COTIZACION N°: 2021-16</p>				
SRES. BRYAN PFURO ROMERO.				
A continuación, remitimos los precios de los productos requeridos a nuestra compañía:				
OPCION 1:				
ITEM	DESCRIPCION	CANT.	PRECIO UNIT.	PRECIO TOTAL
1	LADRILLO REFRACTARIO ARCO 1 A.A. 60% 9" x 4 1/2" x (2 1/2"-2 1/8")	16 PZS	S/ 6.00	S/ 96.00
2	LADRILLO REFRACTARIO ARCO 2 A.A. 60% 9" x 4 1/2" x (2 1/2"-1 3/4")	14 PZS	S/ 6.00	S/ 84.00
3	LADRILLO REFRACTARIO ARCO 3 A.A. 60% 9" x 4 1/2" x (2 1/2"-1")	24 PZS	S/ 6.00	S/ 144.00
4	CASTABLE A.A. 60% X 25	02 BLS	S/ 100.00	S/ 200.00
5	MORTERO A.A. SUPER BOND X 25 KG	01 BLS	S/ 78.20	S/ 78.20
6	MANTA DE FIBRA CERAMICA 4.00M X 0.61M X 1" 1260 °C	01 PZA	S/ 124.00	S/ 124.00
7	LADRILLO REFRACTARIO RECTO STANDARD A.A. 60% DE 9" X 4 1/2" X 2 1/2"	01 PZA	S/ 6.00	S/ 6.00
8	LADRILLO REFRACTARIO DIVIDIDO SILICO ALUMINOSO DE 9" X 4 1/2" X 1 1/4"	06 PZS	S/ 3.60	S/ 21.60
			SUB-TOTAL	S/ 753.80
			IGV 18 %	S/ 135.68
			TOTAL	S/ 889.48

**APENDICE D
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES**

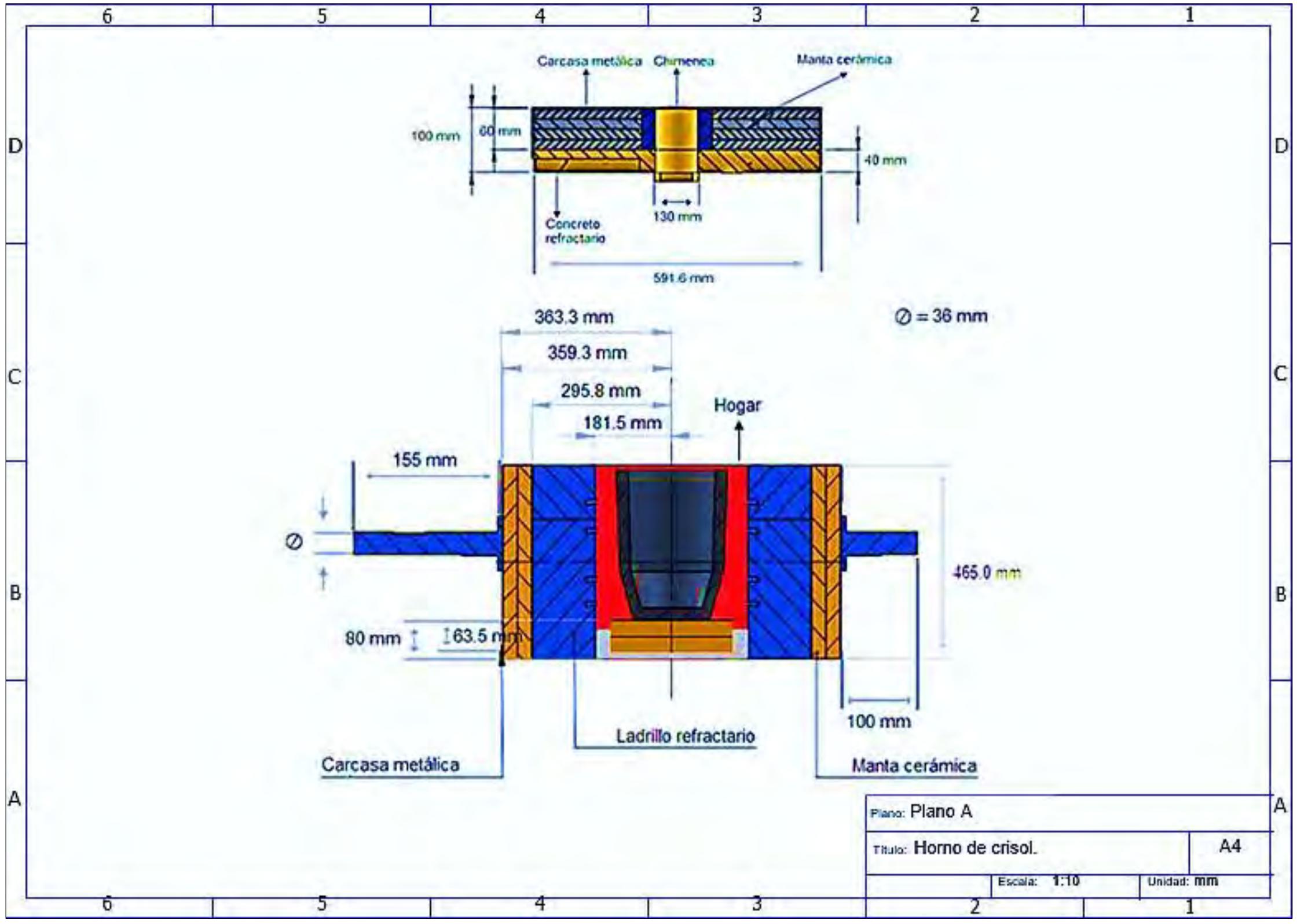
ACTIVIDADES		AÑO 2021												AÑO 2022				
		FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO				
ITEM	TAREA	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Consolidación de Título de Tesis e Inscripción de Plan de Tesis	Aprobación del Título de Tesis																	
	Inscripción de Plan de Tesis en mesa de partes de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica.																	
Capítulo I Planteamiento de la Investigación	Planteamiento del Problema																	
	Justificaciones Hipótesis																	
Capítulo II Marco Teórico	Diseño de Investigación																	
	Recopilación de datos teóricos																	
Capítulo III Diseño	Antecedentes de la Elaboración del Marco Teórico																	
	Diseño Conceptual																	
Capítulo IV Construcción, puesta en marcha, pruebas de fusión e interpretación de resultados	Diseño de Detalle																	
	Diseño Térmico																	
Capítulo V Conclusiones y recomendaciones	Diseño Mecánico																	
	Simulación del Bastidor																	
Capítulo V Conclusiones y recomendaciones	Construcción del horno u olla																	
	Construcción del bastidor																	
Capítulo V Conclusiones y recomendaciones	Puesta en marcha																	
	Pruebas de fusión e interpretación de resultados																	
Capítulo V Conclusiones y recomendaciones	Conclusiones																	
	Recomendaciones																	

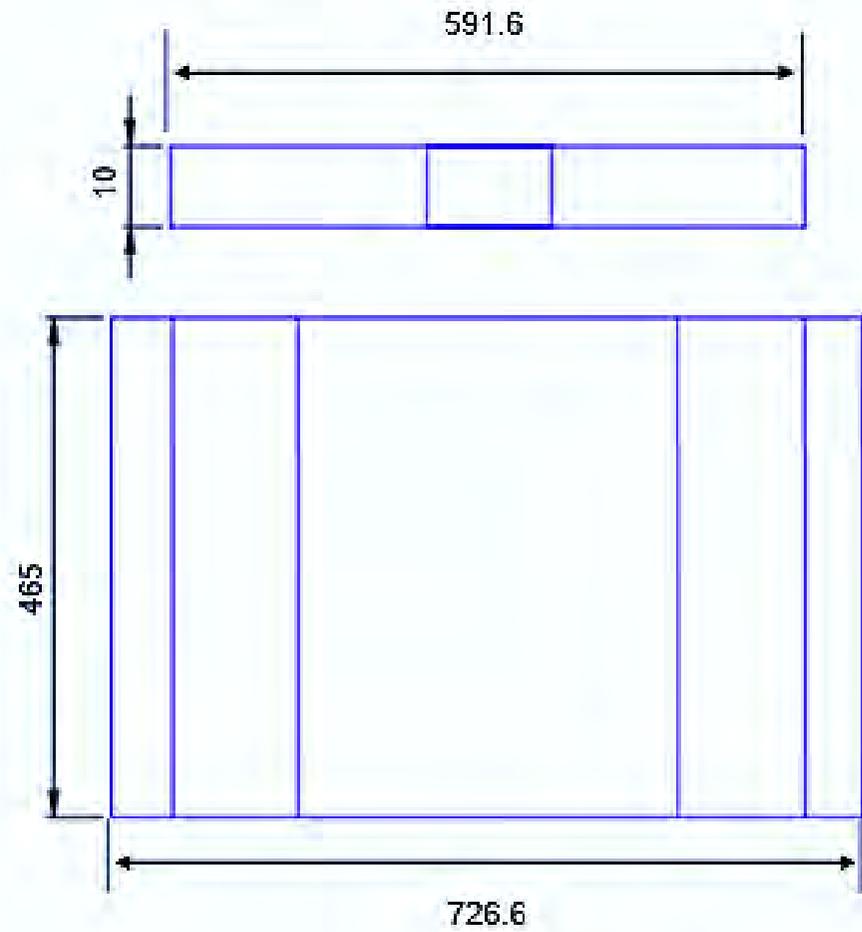
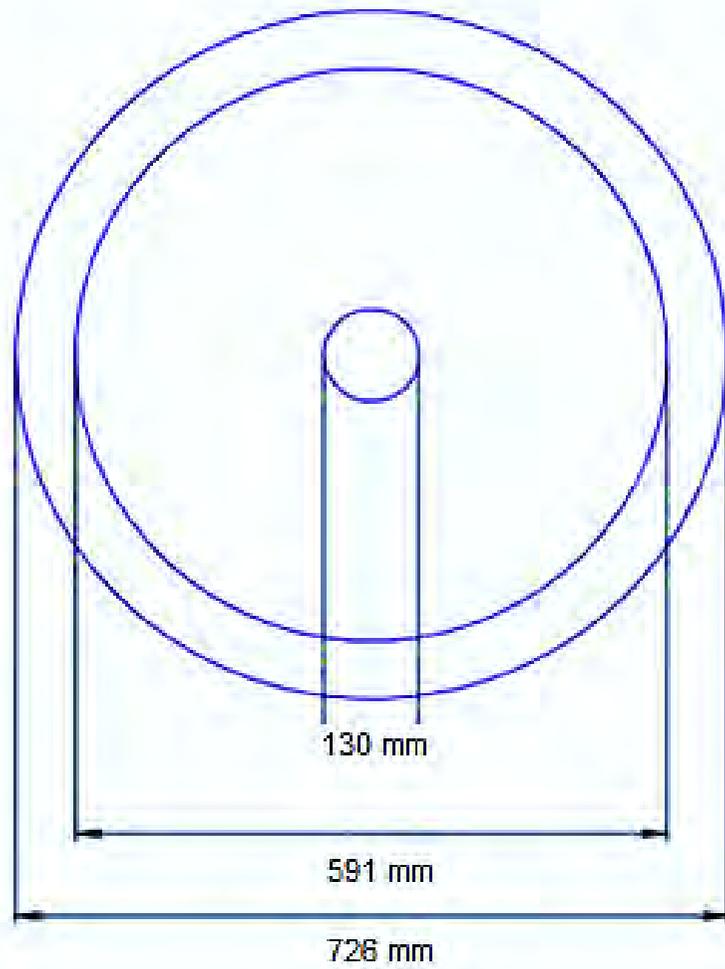
Nota: Elaboración propia.

APENDICE E
MATRIZ DE CONSISTENCIA

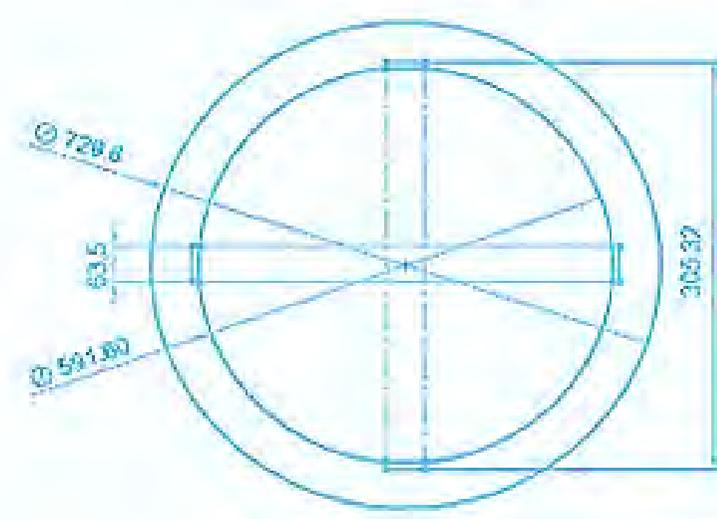
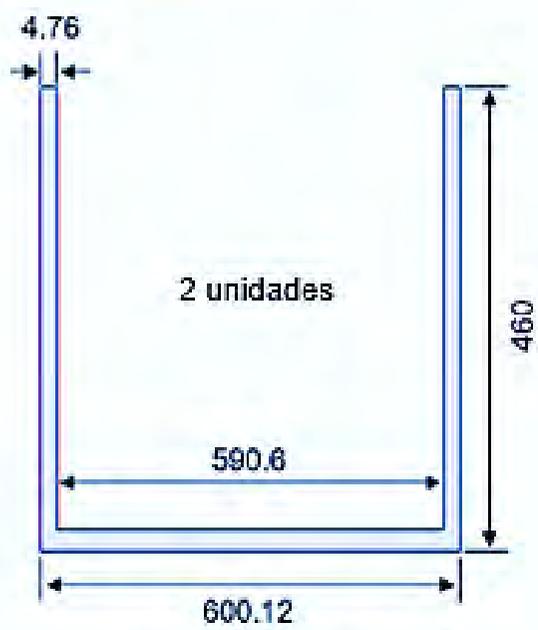
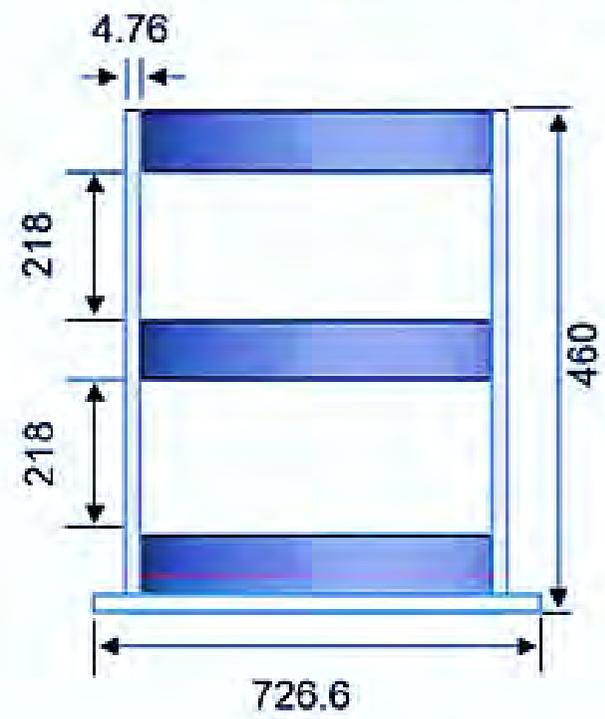
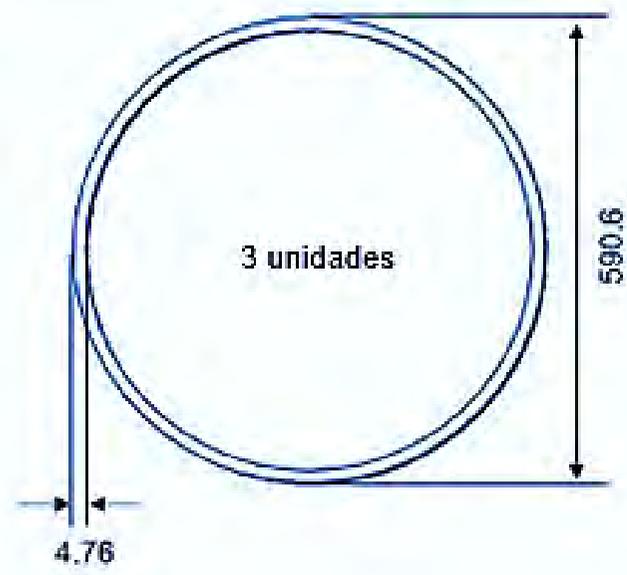
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO DE CRISOL BASCULANTE PARA LA FUSIÓN DE ALUMINIO PARA EL LABORATORIO DE FUNDICIÓN Y MOLDEO DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA	
Planteamiento del Problema	Justificaciones
<p><u>Problema general</u></p> <p>¿Es posible el diseño y construcción de un horno de crisol basculante para la fusión de aluminio que incida en las actividades académicas en el laboratorio de fundición y moldeo de la escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica?</p> <p><u>Problemas específicos</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Los cálculos de ingeniería permitirán dimensionar satisfactoriamente los diferentes elementos del horno de crisol? • ¿Será posible determinar la eficiencia térmica del horno de crisol por medio del balance de energía? • ¿Es posible evaluar el funcionamiento del horno de crisol mediante las pruebas de fusión? 	<p><u>Tecnológica</u></p> <p>Se contribuye con el diseño y construcción del horno de crisol que permitirá poner en práctica los conocimientos teóricos adquiridos en el aula por los estudiantes.</p> <p><u>Social</u></p> <p>Con el diseño y fabricación de este equipo de fusión se coadyuva a adquirir los conocimientos teórico-práctico en el área de fundición y moldeo, por parte de los estudiantes de la escuela profesional para alcanzar de esta manera su formación profesional integral en beneficio de la sociedad.</p> <p><u>Económica</u></p> <p>La tecnología propuesta emplea GLP que tiene mayor poder calorífico que el petróleo que se emplea en el horno de fosa, por lo tanto, se optimiza el tiempo de fusión reduciendo los costos del proceso.</p> <p><u>Ambiental</u></p> <p>Debido al empleo del GLP como combustible, se reduce significativamente las emisiones de humos en comparación a la combustión del diésel con el que operaba el horno de fosa.</p>
	<p><u>Objetivo General</u></p> <p>Diseñar y construir un horno de crisol basculante para la fusión de aluminio para el laboratorio de fundición y moldeo de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica que incida en las actividades educativas de los estudiantes.</p> <p><u>Objetivo Específicos</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Realizar cálculos de ingeniería que permita dimensionar los diferentes elementos del horno de crisol basculante. • Determinar la eficiencia térmica del horno de crisol. • Evaluar el funcionamiento del horno de crisol.
	<p><u>Metodología del diseño</u></p> <p><u>Diseño del horno de crisol</u></p> <p>El diseño del horno es parte fundamental del proyecto, pues nos brinda un panorama de los requerimientos constructivos posteriores y parámetros de funcionamiento esperados. Implica entonces determinar dimensiones, establecer materiales, evaluar requerimientos energéticos y simular.</p> <p><u>Consideraciones de diseño</u></p> <p>Al diseñar el horno de crisol, ciertas consideraciones deben tomarse en cuenta para que este pueda operar de manera óptima.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los hornos cilíndricos son más eficientes que los hornos cuadrados. • El horno debe ser dimensionado acorde al crisol a emplear. • El diámetro de la cámara interior debe ser entre 150 y 300 mm superior que el diámetro del crisol. • Debe permitirse un espacio entre 25 y 50 mm entre el borde superior del crisol y la tapa. • El orificio del quemador debe colocarse en el fondo del horno por debajo del crisol y debe ser tangente a la pared de éste. • El elemento más crítico en el diseño y construcción de un horno de crisol es su recubrimiento refractario. Este permite calentamientos uniformes y baja tasa de pérdida de calor.

Nota: Elaboración propia.

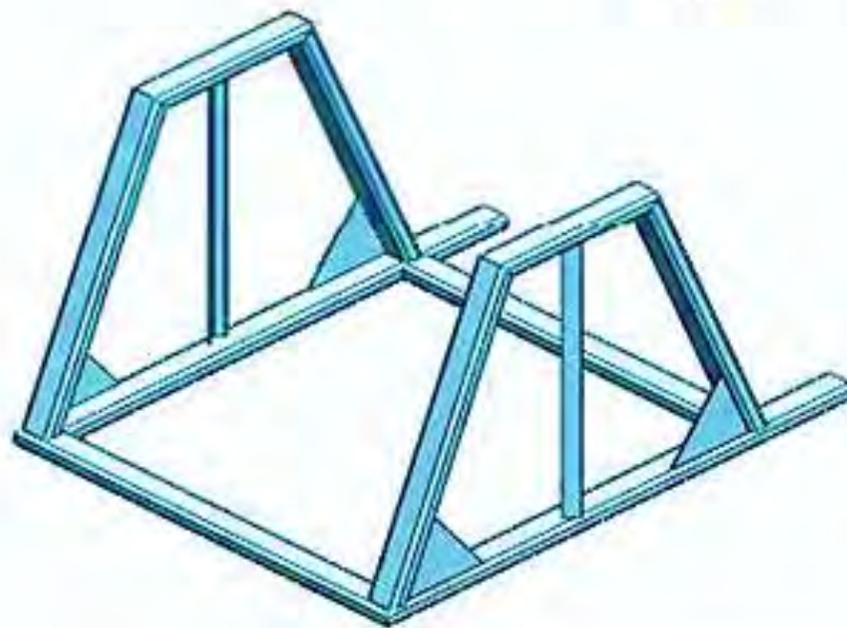
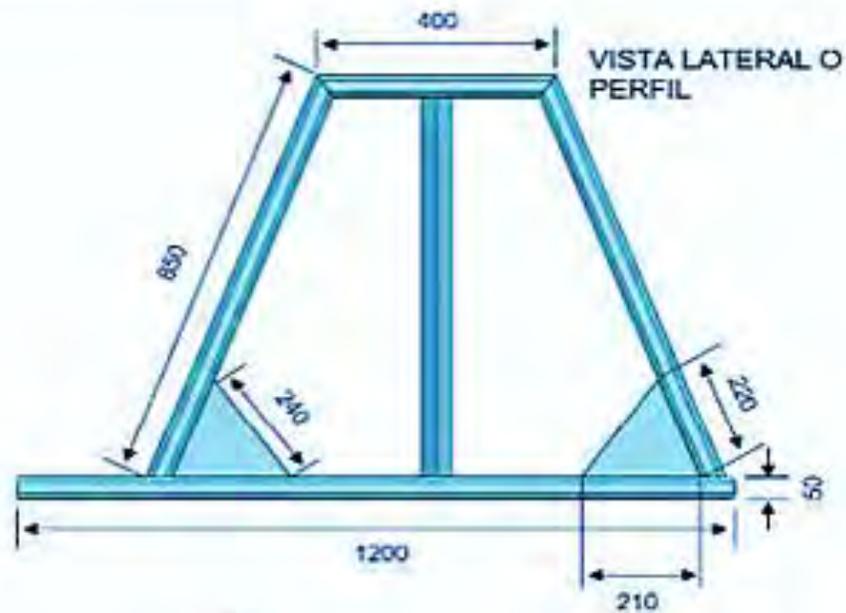
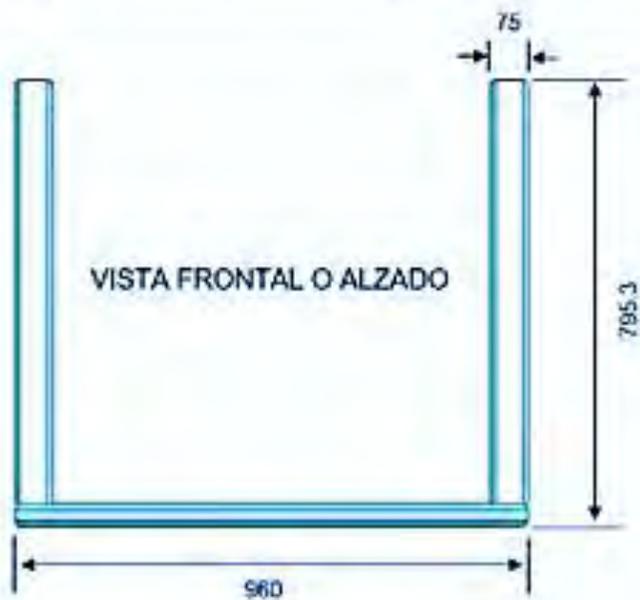




Plano: Plano B			A
Titulo: Carcasas metálicas.		A4	
Materia: A36	Escala: 1:10	Unidad: mm	



Plano: Plano C		
Titulo: Endoestructura metálica.		A4
Material: A38	Escala: 1:10	Unidad: mm



Plano: Plano D		
Título: Soporte metálico para el horno.		A4
Materia: A500	Escala: 1:10	Unidad: mm

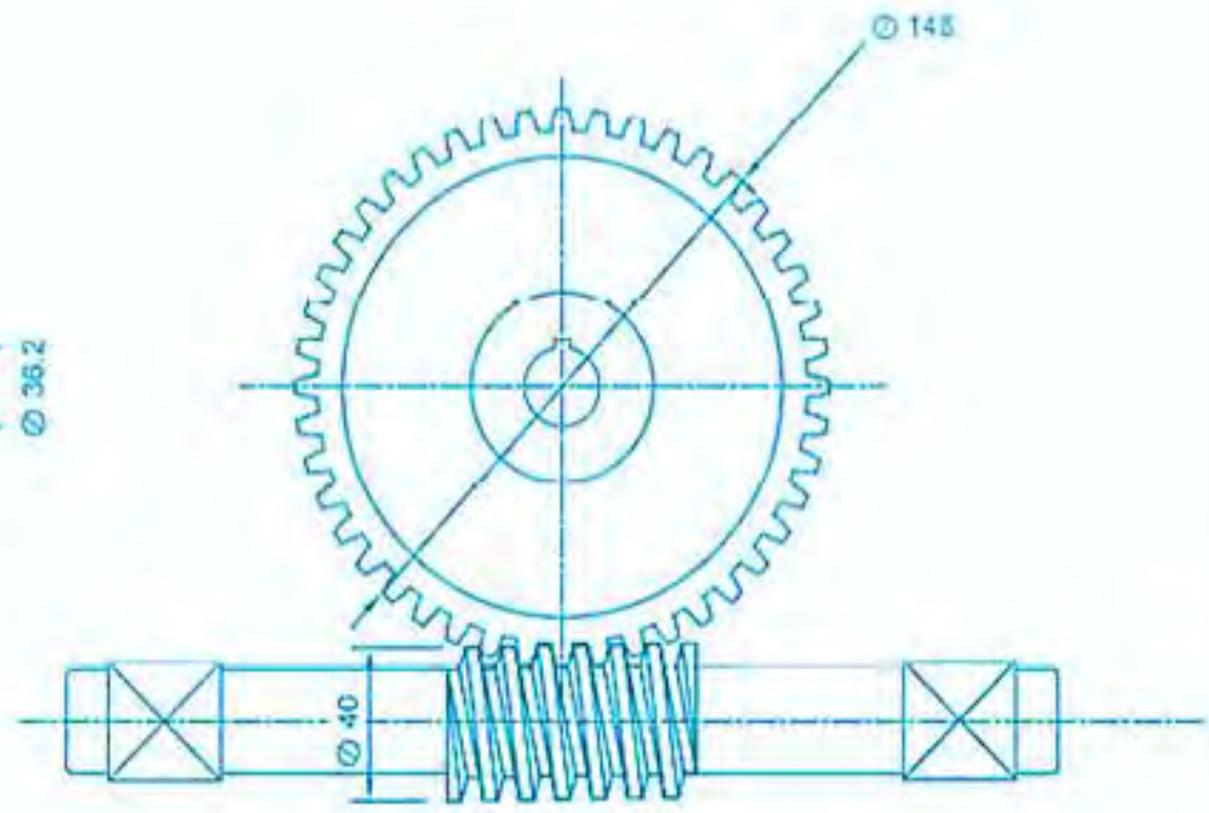
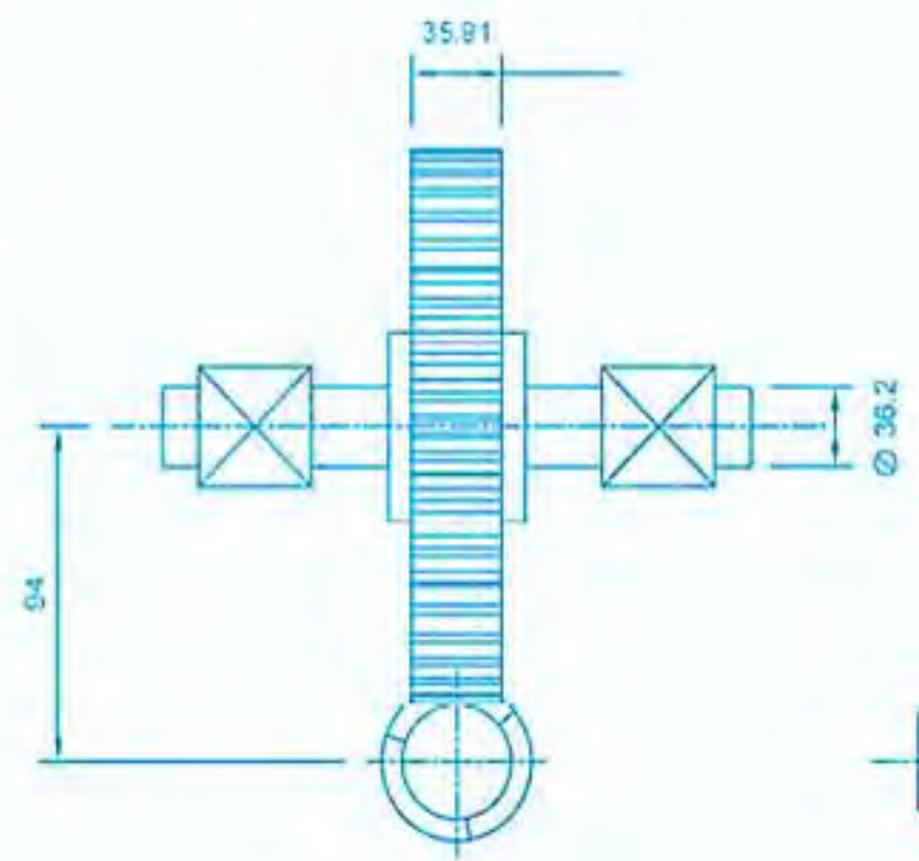
6 5 4 3 2 1

D

D

VISTA LATERAL O PERFIL

VISTA FRONTAL O ALZADO



C

C

B

B

A

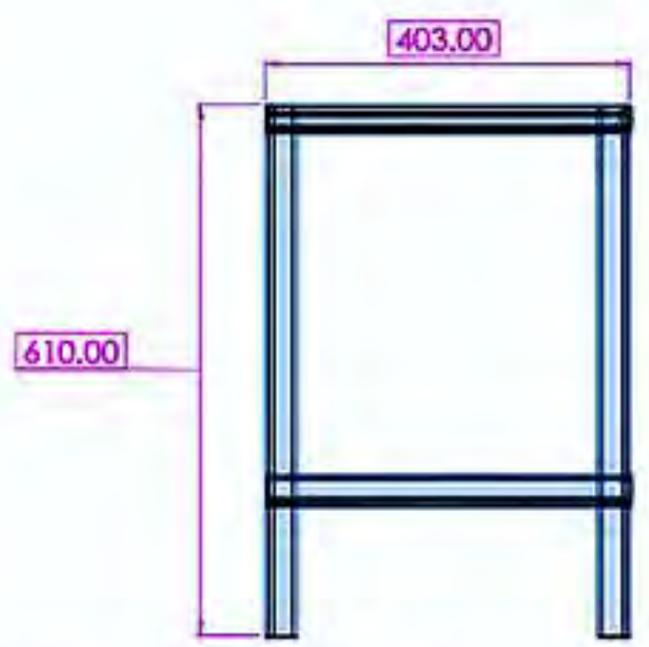
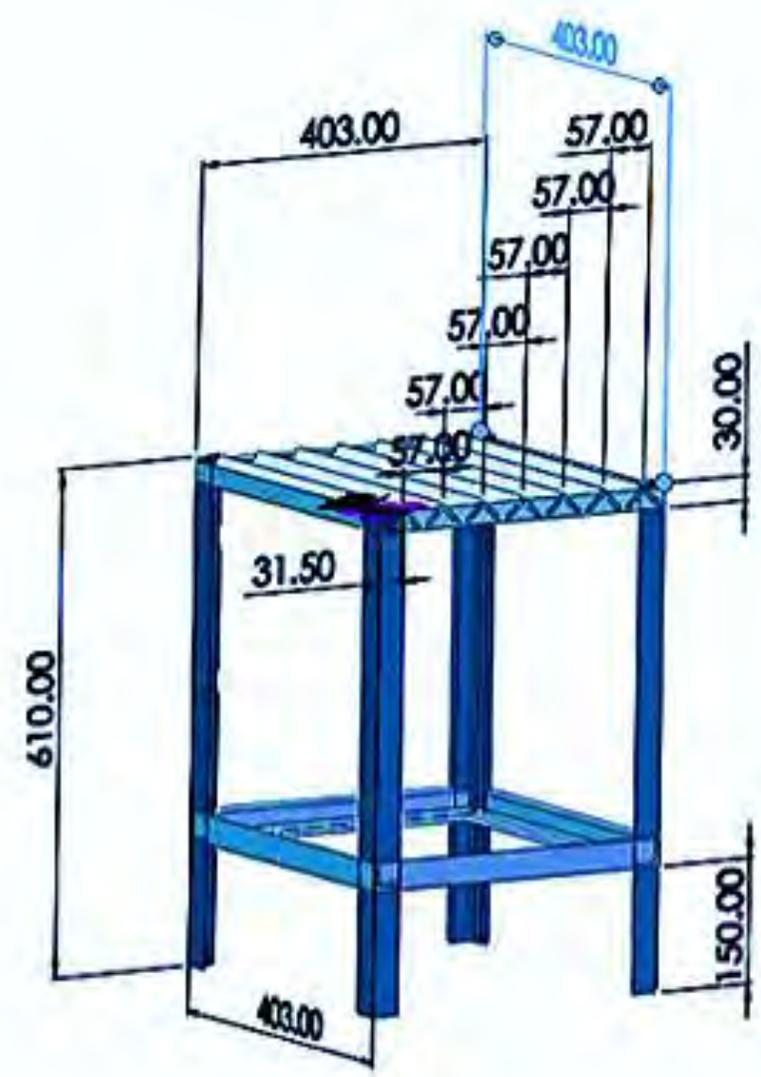
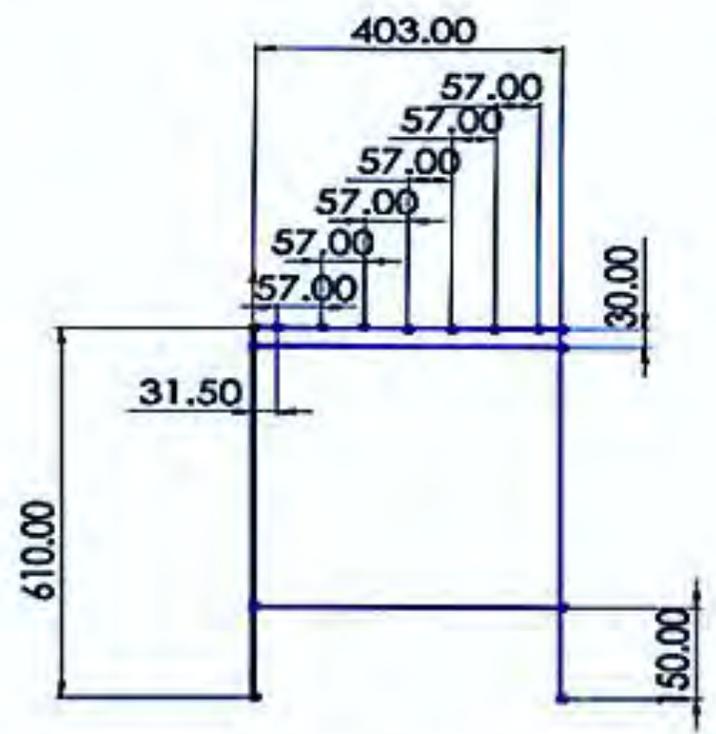
A

6 5 4 3 2 1

Plano: Plano E		
Titulo: Tornillo sinfín.		A4
Material: A36	Escala: 1:10	Unidad: mm

6 5 4 3 2 1

Hierro Angular 35 x 35 x 3



Plano: Plano F		
Título: Soporte Metálico para el quemador.		A4
Material: A36	Escala: 1:10	Unidad: mm

6 5 4 3 2 1