

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y
MECÁNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



TESIS

**IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO DE UN AISLADOR TERMICO EN EL
PROCESO DE SOLDADURA POR MANTEQUILLADO CON NIQUEL EN
BARRAS DE COBRE PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCION EN LA EMPRESA
PRODERMET S.R. LTDA..2023**

PRESENTADO POR:

Br. DAVID EDGAR YEPEZ PERALTA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO MECÁNICO.**

ASESOR:

Mgt. ARTURO MACEDO SILVA

CUSCO – PERÚ

2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, asesor del trabajo de investigación/tesis titulado

IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO DE UN AISLADOR TERMICO EN EL PROCESO DE SOLDADURA POR MANTEQUILLADO CON NIQUEL EN BARRAS DE COBRE PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCION EN LA EMPRESA PRODERMET S.R. LTDA..2023

presentado por:

DAVID EDGAR YEPEZ PERALTA con Nro. de DNI 71313774 para el título profesional/grado académico de INGENIERO MECÁNICO

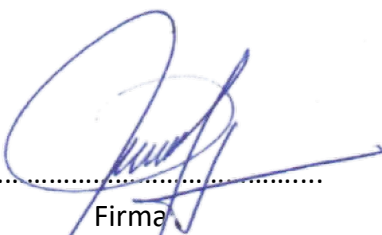
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del *Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 6.00%

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera hoja del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 15 de julio del 2025


.....
Firma
Post firma Arturo Macedo Silva
Nro. de DNI 23821894

ORCID del Asesor 0000-0002-2794-949x

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: _____

<https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:474011672?locale=es-MX>

DAVID EDGAR YEPEZ PERALTA

IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO DE UN AISLADOR TERMICO EN EL PROCESO DE SOLDADURA POR MANTEQUILLADO CON...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:474011672

Fecha de entrega

15 jul 2025, 12:41 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

15 jul 2025, 3:17 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

TESIS_DAVID YEPEZ_ING_MECANICA_UNSAAC (1).pdf

Tamaño de archivo

7.3 MB

211 Páginas

30.574 Palabras

167.777 Caracteres



6% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 9 palabras)
- Trabajos entregados
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 6%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA.

A mi tío Humberto, por su apoyo constante en cada paso del camino, enseñarme el valor del esfuerzo y la dedicación. Por ser un ejemplo a seguir, siempre creer en mí y motivarme a seguir adelante.

A mi Tía Lourdes, por siempre estar pendiente de mí y motivarme para ser mejor cada día.

A mis padres y mi familia, por su amor incondicional y sus sacrificios.

A Rosa por apoyarme siempre en los momentos difíciles.

Con amor y gratitud, les dedico esta tesis.

AGRADECIMIENTO.

*Expreso mi más sincero agradecimiento,
Primero a Dios, por brindarme la sabiduría,
fortaleza y salud durante todo este proceso.*

A mi asesor MSc. Arturo Macedo Silva, por su guía, consejos, paciencia y apoyo en el proyecto de investigación.

De igual manera, a los docentes de la Escuela profesional de Ingeniería Mecánica, quienes han sido una fuente de constante aprendizaje e inspiración durante mi formación profesional.

DAVID EDGAR YEPEZ PERALTA

RESUMEN

El presente documento aborda la implementación de un diseño de aislador térmico para optimizar el proceso de soldadura por mantequillado con níquel en barras de cobre, llevado a cabo en la empresa PRODERMET S.R. LTDA. El objetivo principal es implementar un diseño de aislador térmico que permita optimizar el proceso de soldadura por mantequillado en barras de cobre, mejorando la producción en la fabricación de cátodos permanentes. La metodología adoptada fue de tipo experimental y explicativa, utilizando herramientas de simulación computacional como SOLIDWORKS y ANSYS para modelar el comportamiento térmico del aislador. Se recolectaron datos a través de observación directa y análisis documental de manuales y normativas relacionadas con transferencia de calor. Se desarrolló un diseño que minimiza la pérdida de calor, asegurando la estabilidad térmica requerida para el proceso de soldadura. Los resultados mostraron que el diseño del aislador térmico permitió mantener temperaturas óptimas de entre 300 y 500 °C durante el proceso, reduciendo la necesidad de múltiples precalentamientos. Esto se tradujo en un incremento significativo de la producción diaria, pasando de 9 a 18 barras de cobre procesadas. Además, el análisis económico confirmó la viabilidad de la implementación del diseño, mostrando una reducción en tiempos y costos de operación. En conclusión, el diseño propuesto resultó ser eficiente para optimizar la soldadura por mantequillado, mejorando la productividad en PRODERMET S.R. LTDA. Se recomienda su adopción para fortalecer la posición competitiva de la empresa en el mercado de cátodos permanentes.

Palabras: Aislador Térmico, Producción, Cátodos permanentes, Mantequillado, Níquel.

ABSTRACT

This document addresses the implementation of thermal insulator design to optimize the nickel butter welding process on copper bars, carried out in the company PRODERMET S.R. LTDA. The main objective is to implement a thermal insulator design that allows optimizing the butter welding process in copper bars, improving production in the manufacture of permanent cathodes. The methodology adopted was experimental and explanatory, using simulation tools. computer such as SOLIDWORKS and ANSYS to model the thermal behavior of the insulator. Data were collected through direct observation and documentary analysis of manuals and regulations related to heat transfer. A design was developed that minimizes heat loss, ensuring the thermal stability required for the welding process. The results showed that the design of the thermal insulator made it possible to maintain optimal temperatures of between 300 and 500 °C during the process, reducing the need for multiple preheats. This translated into a significant increase in daily production, going from 9 to 18 copper bars processed. Furthermore, the economic analysis confirmed the viability of the implementation of the design, showing a reduction in operating times and costs. In conclusion, the proposed design turned out to be efficient in optimizing butter welding, improving productivity at PRODERMET S.R. LTDA. Its adoption is recommended to strengthen the company's competitive position in the permanent cathode market.

Words: Thermal Insulator, Production, Permanent cathodes, Battering, Nickel.

INTRODUCCIÓN

Se presenta un proyecto en el campo de la ingeniería mecánica, titulado: “Implementación del Diseño de un Aislador Térmico en el Proceso de Soldadura por Mantequillado con Níquel en Barras de Cobre para Optimizar la Producción en la Empresa PRODERMET S.R. LTDA.”. Este proyecto está enfocado en la propuesta de un aislador térmico que permita mantener las temperaturas óptimas durante la soldadura de metales disimilares, mejorando la eficiencia del proceso de fabricación de cátodos permanentes utilizados en la electro-obtención de cobre. Actualmente, la empresa enfrenta problemas asociados con la rápida disipación térmica del cobre durante el proceso de soldadura, lo que obliga a realizar múltiples precalentamientos y genera retrasos en la producción. Este problema afecta directamente la capacidad de la empresa para satisfacer la creciente demanda del mercado, incrementando los costos operativos y reduciendo la competitividad. En este contexto, el presente proyecto busca diseñar, modelar y evaluar un aislador térmico que no solo mantenga las temperaturas de trabajo entre 300 y 500 °C, sino que también optimice los tiempos de producción, reduciendo los precalentamientos y aumentando la productividad diaria de 9 a 18 barras procesadas. Este diseño se alinea con los estándares de calidad y control requeridos en la industria metalúrgica, contribuyendo al desarrollo técnico y económico de la empresa, además, el proyecto se enmarca dentro de un enfoque de innovación tecnológica que prioriza la eficiencia energética, la reducción de costos y la mejora de las condiciones de trabajo para los soldadores, beneficiando tanto a la empresa como a su entorno industrial. A través de este diseño, se espera posicionar a PRODERMET S.R. LTDA. como líder en la fabricación de cátodos permanentes, fortaleciendo su presencia en el mercado nacional e internacional.

ÍNDICE

RESUMEN	3
INTRODUCCIÓN	5
ÍNDICE.....	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	10
ÍNDICE DE FIGURAS	12
ABREVIATURAS	18
CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	20
1.1. Planteamiento del problema	20
1.2. Formulación del problema.....	24
1.2.1. Problema general	24
1.2.2. Problemas específicos.....	24
1.3. Planteamiento de objetivos.....	25
1.3.1. Objetivo general.....	25
1.3.2. Objetivos específicos	25
1.4. Justificación e importancia	26
1.4.1 Justificación	26
1.4.2 Importancia	27
1.5. Hipótesis.....	27
1.5.1. Hipótesis General.....	27
1.6. Alcances y limitaciones	28
1.6.1. Alcances.....	28
1.6.2. Limitaciones.....	28
1.7. Sistema de variables de diseño	29
1.7.1. Variables independientes de diseño	29

1.7.2.	Variable dependiente de diseño	29
1.8.	Metodología de estudio	29
1.8.1.	Tipo de investigación.....	29
1.8.2.	Nivel de investigación	29
1.8.3.	Técnicas e instrumentos de recolección de información	29
1.8.4.	Procesamiento y análisis de datos.....	30
CAPÍTULO II: MARCO TEORICO.....		31
2.1.	Antecedentes de la investigación.....	31
2.2.	Bases teóricas	37
2.2.1.	Soldadura TIG.....	37
2.2.2.	Soldadura De Metales Disimiles.....	44
2.2.3.	Cobre.....	46
2.2.4.	Níquel.....	47
2.2.5.	Soldadura de cobre con acero inoxidable	48
2.2.6.	Cátodos permanentes de electro-obtención	49
2.2.7.	Cátodos Permanentes	51
2.2.8.	Aislantes Térmicos	52
2.2.9.	Transferencia de Calor	54
2.2.10.	Dilatación Térmica.....	68
2.2.11.	ANSYS.....	71
CAPÍTULO III: CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL AISLADOR TÉRMICO.		72
3.1.	Lista de Exigencias.....	72
3.1.1.	Parámetros deseados	72
3.1.2.	Sistema de aislamiento térmico (Material Aislante).	78
3.1.3.	Dilatación térmica de barra de cobre	80

3.1.4.	Análisis de sistema concentrado o transitorio.....	82
3.2.	Análisis térmico aplicado al prototipo.....	89
3.2.1.	Geometría de barra y aislador	89
3.2.2.	Cálculos por transferencia de calor aplicados al prototipo con la barra.	92
CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL AISLADOR TÉRMICO		120
4.1.	Dimensionamiento del aislador térmico	120
4.2.	Construcción en programa de las partes del aislador térmico y la barra de cobre.	120
4.2.1.	Simulación de la barra de cobre.....	121
4.2.2.	Simulación del aislador térmico (Paredes del aislador).....	134
4.3.	Recolección de datos de simulación.....	155
4.4.	Análisis de resultados simulación y cálculos.	158
CAPÍTULO V: INGENIERIA DE DETALLES Y ENSAMBLAJE		161
5.1.	Planos de fabricación del aislador térmico.....	161
5.2.	Especificaciones técnicas del aislador térmico.....	161
5.2.1.	Armazón metálico.....	162
5.2.2.	Ladrillos refractarios.....	163
5.2.3.	Tornillos de concreto.	163
5.3.	Orden de ensamblaje	164
CAPÍTULO VI: ANALISIS ECONOMICO Y RENDIMIENTO		172
6.1.	Análisis económico de aislador térmico.....	172
6.1.1.	Costos directos de un aislador	172
6.1.2.	Costo de inversión	174
6.1.3.	Rentabilidad	174
6.2.	Análisis de rendimiento de la producción de barras de cobre.	177

CONCLUSIONES.....	179
RECOMENDACIONES	181
BIBLIOGRAFÍA	182
ANEXOS.....	187
ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	188
ANEXO 2: NORMA UNE EN ISO 12241 (VDI 2055)	191
ANEXO 3: CALIDAD DE SOLDADURA DE CATODOS PERMANENTE	194
ANEXO 4: PRECIOS DE MATERIALES.....	197
ANEXO 5: PLANOS DE EXPLOSION Y DETALLES.....	199

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ventajas y Limitaciones - Soldadura TIG	37
Tabla 2 Polaridad del electrodo DC-	40
Tabla 3 Polaridad del electrodo DC+	40
Tabla 4 Polaridad del electrodo AC.....	41
Tabla 5 Electrolito y cátodos para electro - obtención del cobre	50
Tabla 6 Composición química.....	77
Tabla 7 Propiedades de metales solidos	77
Tabla 8 Propiedades de ladrillo refractario.....	78
Tabla 9 Vigilancia climática -lima metropolitana Temperatura clima.....	83
Tabla 10 Propiedades de metales solidos	84
Tabla 11 Coeficientes individuales de transmisión de calor por convención.....	85
Tabla 12 Propiedades de metales solidos- metal cobre	86
Tabla 13 Tabla de tiempos y temperaturas	115
Tabla 14 Temperatura primer pase soldadura	155
Tabla 15 Temperatura en segundo pase soldadura	156
Tabla 16 Temperatura tercer pase soldadura	156
Tabla 17 Resumen de temperaturas y tiempo soldadura	156
Tabla 18 Temperatura paredes laterales aislador.....	157
Tabla 19 Temperatura paredes sup/inf aislador.....	157
Tabla 20 Temperatura de paredes aislador SST Conduct.....	158
Tabla 21 Comparación de temperaturas interna y externa	159
Tabla 22 Comparación temperaturas en los 3 nodos	159
Tabla 23 Comparación temperaturas de barra de cobre	160

Tabla 24	Planos de detalle y explosión	161
Tabla 25	Dimensiones aislador.....	161
Tabla 26	Especificaciones de platinas de metal	162
Tabla 27	Especificaciones de ladrillo refractario	163
Tabla 28	Especificaciones de tornillos de concreto.....	164
Tabla 29	Metrado de aislador térmico	172
Tabla 30	Detalles de soldador 6G.....	174
Tabla 31	Valor monetario de trabajo soldador	176

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Placas de cátodos permanentes	22
Figura 2 Placa madre o cátodo permanente diseño cliente Prodermet.	23
Figura 3 Principios del proceso TIG	39
Figura 4 Polaridad del electrodo a DC-	39
Figura 5 <i>Polaridad del electrodo a DC+</i>	40
Figura 6 <i>Polaridad del electrodo a AC</i>	41
Figura 7 Esquema de conexión típica enfriada por aire	42
Figura 8 Esquema de conexión típica enfriada por agua.....	42
Figura 9 Ángulo adecuado de la antorcha	43
Figura 10 Accesorios para soldadura TIG.....	43
Figura 11 Soldadura de metales disimiles	45
Figura 12 <i>Diagrama de fases Cu-Ni</i>	48
Figura 13 <i>Diagrama de fases del sistema Fe-Cu</i>	49
Figura 14 Proceso de cosecha y siembra del cobre	50
Figura 16 Siembra del cobre mediante electro obtención	51
Figura 17 Placa madre o cátodos permanentes.....	52
Figura 18 Materiales aislantes	53
Figura 19 Transferencia de calor por conducción	55
Figura 20 <i>Red térmica en una pared</i>	56
Figura 21 <i>Análisis de un sistema concentrado</i>	59
Figura 22 <i>Número de Biot en un cuerpo sólido</i>	60
Figura 23 Transferencia de calor por convección	61
Figura 24 Proceso de convección	62
Figura 25 <i>Esquema de nodos en diferencias finitas.</i>	63

Figura 26 <i>Puntos nodales en una pared plana</i>	65
Figura 27 <i>Balance de energía</i>	65
Figura 28 <i>Balance de energía en el tiempo</i>	66
Figura 29 <i>Convección con frontera en la pared izquierda</i>	67
Figura 30 <i>Dilatación térmica lineal</i>	69
Figura 31 <i>Dilatación térmica superficial</i>	70
Figura 32 <i>Dilatación térmica Volumétrica</i>	70
Figura 33 <i>Diagrama de fases Fe-Cu</i>	72
Figura 34 <i>Geometría de placa madre o cátodo permanente</i>	73
Figura 35 <i>Barra de cobre con espacios</i>	74
Figura 36 <i>Posiciones a mantequillar/soldar</i>	75
Figura 37 <i>Líneas (dirección) de mantequillado</i>	75
Figura 38 <i>Dimensiones iniciales de la barra a una temperatura de 20 °C</i>	80
Figura 39 <i>Dilatación lineal en solidos</i>	81
Figura 40 <i>Dimensiones de la barra de cobre con una temperatura de 450 °C</i>	82
Figura 41 <i>Geometría del aislador</i>	89
Figura 42 <i>Geometría de barra de cobre</i>	89
Figura 43 <i>Detalle del soporte en el aislador térmico</i>	90
Figura 44 <i>Geometría de ladrillos base</i>	91
Figura 45 <i>Espaciamiento entre barra de cobre y aislador térmico</i>	91
Figura 46 <i>Cuadro de soldadura en barra de cobre</i>	93
Figura 47 <i>Distancia de barra de cobre en aislador primera soldadura</i>	94
Figura 48 <i>Detalles de aire dentro de aislador térmico</i>	94
Figura 49 <i>Geometría de barra dentro del aislador</i>	96
Figura 50 <i>Temperatura de cobre inicial (primer pase)</i>	97

Figura 51	<i>Temperatura de cobre después de 300 seg.</i>	97
Figura 52	<i>Temperaturas ambiente de aislador</i>	98
Figura 53	<i>Temperatura de aislador en 300 seg.</i>	99
Figura 54	<i>Longitud cobre en aislador segunda soldadura.</i>	99
Figura 55	<i>Detalles de aire dentro de aislador térmico</i>	100
Figura 56	<i>Geometría de barra dentro de aislador</i>	101
Figura 57	<i>Temperatura de cobre inicial (Segundo pase)</i>	102
Figura 58	<i>Temperatura de cobre después de 570 seg</i>	103
Figura 59	<i>Temperaturas ambiente de aislador</i>	103
Figura 60	<i>Temperaturas aislador en 570 seg.</i>	104
Figura 61	<i>Longitud de cobre en aislador tercera soldadura</i>	105
Figura 62	<i>Detalles de aire dentro del aislador térmico</i>	105
Figura 63	<i>Geometría de barra dentro de aislador</i>	107
Figura 64	<i>Temperatura de cobre inicial (Tercer pase)</i>	108
Figura 65	<i>Temperatura de cobre después de 850 seg.</i>	108
Figura 66	<i>Temperaturas ambiente de aislador</i>	109
Figura 67	<i>Temperaturas de aislador en 850 seg</i>	109
Figura 68	<i>Paredes de aislador Térmico con nodos</i>	110
Figura 69	<i>Nodo 0 y balance de energía en pared de aislador</i>	111
Figura 70	<i>Nodo 1 y balance de energía en pared de aislador</i>	112
Figura 71	<i>Nodo 2 y balance de energía en pared de aislador</i>	113
Figura 72	<i>Geometría de barra de cobre en aislador (primer pase)</i>	116
Figura 73	<i>Geometría de barra de cobre en aislador (segundo pase)</i>	117
Figura 74	<i>Geometría de barra de cobre en aislador (tercer pase)</i>	118
Figura 75	<i>Explosión de ladrillos del aislador térmico</i>	120

Figura 76 <i>Pantalla principal ANSYS</i>	121
Figura 77 <i>Transient Thermal</i>	122
Figura 78 <i>Selección de material</i>	122
Figura 79 <i>Modelo de barra en ANSYS</i>	123
Figura 80 <i>Interfaz de barra en Transient Thermal</i>	123
Figura 81 <i>Panel del proyecto en Transient Thermal</i>	124
Figura 82 <i>Selección de material para barra</i>	124
Figura 83 <i>Enmallado de barra</i>	125
Figura 84 <i>Selección de barra para análisis</i>	125
Figura 85 <i>Temperatura inicial de la barra</i>	126
Figura 86 <i>Parámetros de tiempo</i>	126
Figura 87 <i>Transferencia de calor Convección</i>	127
Figura 88 <i>Selección de parámetros de Convección</i>	127
Figura 89 <i>Solución para analizar las temperaturas</i>	128
Figura 90 <i>Barra con gradiente de temperatura</i>	128
Figura 91 <i>Tabla de resultados de temperatura por tiempo</i>	128
Figura 92 <i>Selección de material para la barra</i>	129
Figura 93 <i>Modelo de barra en ANSYS</i>	129
Figura 94 <i>Panel del proyecto en Transient Thermal</i>	130
Figura 95 <i>Barra con gradiente de temperatura</i>	130
Figura 96 <i>Tabla de resultados de temperatura por tiempo</i>	131
Figura 97 <i>Selección de material para la barra</i>	132
Figura 98 <i>Modelo de barra en ANSYS</i>	132
Figura 99 <i>Panel del proyecto en Transient Thermal</i>	133
Figura 100 <i>Barra con gradiente de temperatura</i>	133

Figura 101	<i>Tabla de resultados de temperatura por tiempo.....</i>	133
Figura 102	<i>Dimensiones de paredes internas aislador</i>	135
Figura 103	<i>Panel del proyecto Transient Thermal</i>	136
Figura 104	<i>Selección de material de aislador</i>	136
Figura 105	<i>Modelo de pared lateral de aislador en ANSYS</i>	137
Figura 106	<i>Selección de pared lateral para el análisis.....</i>	137
Figura 107	<i>Enmallado de pared lateral</i>	138
Figura 108	<i>Análisis de convección en el sistema Transient Thermal</i>	138
Figura 109	<i>Temperatura inicial de la pared lateral aislador</i>	138
Figura 110	<i>Parámetros de tiempo para el análisis</i>	139
Figura 111	<i>Selección de pared en contacto con medio interno.....</i>	139
Figura 112	<i>Selección de pared en contacto con medio externo</i>	140
Figura 113	<i>Gradiente de temperatura en las paredes laterales.....</i>	140
Figura 114	<i>Tabla de resultados de temperatura por tiempo.....</i>	141
Figura 115	<i>Panel de proyecto en Transient Thermal.....</i>	141
Figura 116	<i>Selección de material para pared inferior y superior.....</i>	142
Figura 117	<i>Modelo de pared inferior/superior en ANSYS</i>	142
Figura 118	<i>Selección de pared para análisis</i>	143
Figura 119	<i>Enmallado de pared inferior/superior</i>	143
Figura 120	<i>Análisis de convección en el sistema Transient Thermal</i>	144
Figura 121	<i>Temperatura inicial de pared inferior/superior</i>	144
Figura 122	<i>Parámetros de tiempo para el análisis.</i>	145
Figura 123	<i>Selección de pared de contacto con medio interno.....</i>	145
Figura 124	<i>Selección de pared de contacto con medio externo</i>	146
Figura 125	<i>Gradiente de temperatura en las paredes inferior/superior</i>	146

Figura 126	<i>Tabla de resultados de temperatura por tiempo</i>	147
Figura 127	<i>Pantalla principal del programa SST-CONDUCT</i>	147
Figura 128	<i>Panel del programa en Transient Thermal</i>	148
Figura 129	<i>Parámetros para el análisis</i>	149
Figura 130	<i>Parámetros de convección en las paredes aislador</i>	149
Figura 131	<i>Tabla de resultados del análisis</i>	150
Figura 132	<i>Tabla de resultados de los tiempos del análisis</i>	150
Figura 133	<i>Gráfico de temperatura de la cara interior del aislador</i>	151
Figura 134	<i>Gráfico de temperatura del intermedio del aislador</i>	151
Figura 135	<i>Gráfico de temperatura de la pared exterior del aislador</i>	152
Figura 136	<i>Cambio de tiempo en programa</i>	152
Figura 137	<i>Tabla de resultados del análisis</i>	153
Figura 138	<i>Tabla de resultados de tiempos del análisis</i>	153
Figura 139	<i>Grafico de temperatura de la cara interior del aislador</i>	154
Figura 140	<i>Grafico de temperatura del intermedio del aislador</i>	154
Figura 141	<i>Grafico de temperatura de la pared exterior del aislador</i>	155
Figura 142	<i>Modelo de aislador térmico</i>	162
Figura 143	<i>Armazón metálico inferior de aislador térmico</i>	165
Figura 144	<i>Ensamblaje de ladrillos refractarios base en armazón</i>	166
Figura 145	<i>Ensamblaje de ladrillos refractarios laterales</i>	167
Figura 146	<i>Ensamblaje de ladrillos refractarios superiores</i>	168
Figura 147	<i>Ensamblaje de ladrillos refractarios Parte A</i>	169
Figura 148	<i>Ensamblaje de ladrillos refractarios Parte B</i>	170
Figura 149	<i>Ensamblaje del aislador térmico</i>	171
Figura 150	<i>Precios de soldador homologado 6G Capeco</i>	173

ABREVIATURAS

A	Área
Ao	Ancho inicial de barra
As	Área superficial
Bi	Constante de Biot
Cp	Calor específico
e	Espacio
h	Coeficiente de transferencia de calor por convección
H	Calor transferido por unidad de tiempo
Ho	Altura inicial de barra
K	Kelvin
k	Conductividad térmica
<i>I</i>	Longitud final
<i>Io</i>	Longitud inicial
L	Espesor
Lc	Longitud característica
Lo	Longitud inicial de barra
m	Metro
m	Masa
mm	Milímetros
Mpa	Mega Pascal
Pr	Numero de Prandtl
Q cond.	Rapidez de transferencia de calor por conducción
Rt c.	Resistencia por contacto

$R_t \text{ cond.}$	Resistencia por conducción
$R_t \text{ conv.}$	Resistencia por convección
S	Superficie final
S_o	Superficie inicial
t	Tiempo
T_{air}	Temperatura de aire interior de aislador
T_c	Temperatura menor
T_h	Temperatura mayor
T_m	Temperatura en nodo m
T_s	Temperatura superficial
T_∞	Temperatura del fluido alejado de esta superficie
μ	Viscosidad dinámica
ν	Viscosidad cinemática
v	Velocidad
V	Volumen
V_o	Volumen inicial
W	Watts
ρ	Densidad
Δx	Variación longitud
α	Difusividad térmica
γ	Coeficiente de dilatación volumétrica
Δt	Variación de tiempo
λ	Coeficiente de dilatación lineal
τ	Número discreto de Fourier
σ	Coeficiente de dilatación superficial

CAPÍTULO I:

GENERALIDADES

1.1.Planteamiento del problema

En la empresa PRODERMET se dan trabajos para realizar el proceso de soldeo y construcción de placas madres o catados permanentes utilizados en procesos de electro-obtención de cobre estos elementos son muy especiales y su construcción es de carácter limitado y especial, dicho trabajo llega a la empresa ya que la empresa es especialista en soldadura.

Ese tipo de soldadura se llama de metales disimilares porque son de dos metales distintos de cobre y acero inoxidable 316-L, la unión de estos metales es especial y compleja.

Para poder unir dichos materiales se requiere de dos procesos de soldadura en la cual se tiene que tratar primero la barra de cobre y luego poder soldarla con la plancha de acero inoxidable. Para lo cual el área a intervenir es la soldadura en la barra de cobre.

Durante el proceso de soldadura de estos metales se requiere una preparación especial en la cual la que vamos abordar es en la soldadura del cobre con un proceso de Mantequillado, el cual requiere precalentamiento en el cobre entre las temperaturas de 300 y 500 °C para una soldadura óptima, donde los problemas empiezan a surgir en el momento del soldeo ya que la barra de cobre es precalentado a estas temperaturas dadas con un soplete el cual después del precalentamiento se empieza a mantequillar con el metal de aporte de níquel pero la barra de cobre por ser un material con características de alta conductividad térmica , hace que el calor suministrado se disipe de manera rápida y pasado un tiempo el cobre no esté en la temperatura adecuada para su soldeo, en pocas palabras, se enfría y no esté en la temperatura para soldar con el metal de aporte.

Entonces se tiene que precalentar la barra de cobre entre 4 veces para poder terminar el soldeo donde se gasta mucho tiempo en el proceso de precalentamiento y soldeo de la

barra del cobre.

En la empresa PRODERMET normalmente se realiza 100 placas en un determinado tiempo, y nos pidió que podamos aumentar la cantidad de producción y tenerlo en menos tiempo de no ser así y mejorar el sistema de producción, ya que el cliente demanda mayores cantidades cada vez y la empresa no podrá abastecerse para la construcción de las placas y perderíamos oferta laboral, oferta de mercado y además una empresa que crezca y se haga más especialista en cátodos permanentes en el Perú el cual no se realiza con mucha frecuencia. Normalmente en la empresa se logra hacer en proceso de Mantequillado a 9 barras por día, el cual queremos mejorar esta producción.

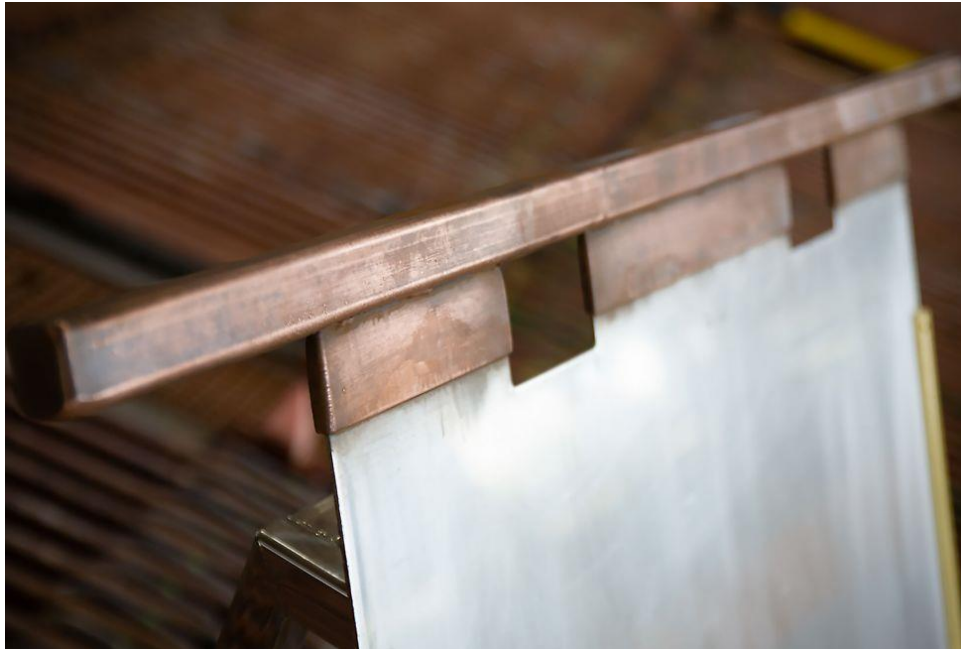
Entonces para el desarrollo de este problema, para la solución se plantea hacer un aislador térmico de tamaño o de dimensiones de la barra de cobre que no sea muy voluptuoso y que sea fácil de transportar; este aislador térmico consiste en que el cobre precalentado no logre enfriarse de manera rápida y mantenga la temperatura dada para el proceso de soldadura; lo más óptimo sería que en un solo precalentamiento se puede soldar toda la barra de cobre, y así podremos aumentar producción, reducir tiempos y mantener la misma calidad entre el cobre y el metal de aporte níquel.

Debido a la necesidad de mejorar la producción y mantener la calidad de la soldadura en cobre – Acero Inoxidable en la fabricación de las placas madres, en primer lugar es necesario manifestar que para realizar dicha soldadura y en forma óptima se requiere de realizar una soldadura previa a lo largo de la barra de cobre con soldadura de níquel llamado “Mantequillado”, tiene la finalidad de permitir la adecuada adherencia de la soldadura de la Barra de Cobre con la plancha de Acero Inoxidable, y el metal de aporte de níquel se usa por su alta conductividad térmica y su buena resistencia a la corrosión, el mismo que se tiene que realizar cuando la barra de cobre se encuentre pre calentada a elevadas temperaturas de entre los 300 A 500 °C, por lo cual el primer problema a salvar es mantener

las temperaturas indicadas al momento del soldeo a lo largo de dicha barra de cobre para lo cual se requiere diseñar un aislador térmico que mantenga la temperatura para realizar dicho sistema de soldadura, esto es, que durante el proceso de soldadura no se pierda temperatura en los materiales pre calentados, además de considerar que dicho aislador sea simple, práctico y económico para su elaboración, que sea eficiente y se mejore las condiciones de soldadura, como el confort de los soldadores al momento del soldeo de los metales disimiles.

Figura 1

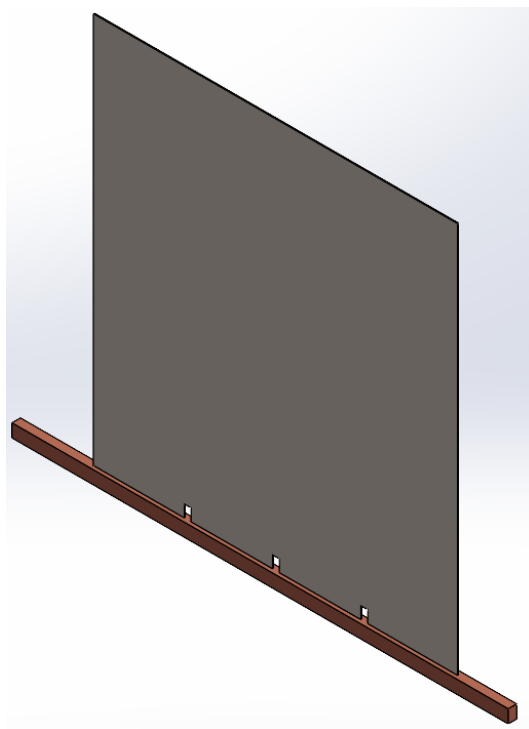
Placas de cátodos permanentes



Nota. Modelo de un tipo de diseño de una placa de cátodo permanente. Fuente: Glencore Technology (<https://www.glencoretechnology.com>)

Figura 2

Placa madre o cátodo permanente diseño cliente Prodermet.



Nota. Elaboración propia

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo optimizar la producción en el proceso de soldadura del mantequillado con níquel en barras de cobre en la empresa PRODERMET S.R. LTDA. 2023?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son los parámetros en el proceso de mantequillado con níquel en barras de cobre?
- ¿Cómo reducir la pérdida de calor en las áreas críticas del proceso de soldadura manteniendo los rangos óptimos de temperatura?
- ¿Cómo validar la funcionalidad del aislador térmico en el proceso del mantequillado de las barras de cobre?
- ¿Cómo desarrollar instrucciones claras y detalladas para el aislador térmico, incluyendo secuencias y técnicas de montaje?
- ¿Cómo validar la optimización de la producción en la empresa PRODERMET S.R. LTDA. por la Implementación del diseño de un aislador térmico en el proceso de soldadura por mantequillado con níquel en barras de cobre? Y ¿Cuánto costaría la implementación del aislador térmico en la empresa PRODERMET S.R. LTDA., siendo un prototipo inicial?

1.3.Planteamiento de objetivos

1.3.1. *Objetivo general*

Implementar el diseño de aislador térmico en el proceso de soldadura por mantequillado con níquel en barras de cobre para optimizar la producción en la empresa PRODERMET S.R. LTDA.,2023

1.3.2. *Objetivos específicos*

- Diseñar un aislador térmico basándonos en los parámetros del mantequillado en las barras de cobre.
- Evaluar las dimensiones, funcionamiento y selección de material del aislador térmico a partir del análisis térmico por transferencia de calor.
- Modelar el comportamiento funcional del aislador térmico con un software de elementos finitos o métodos numéricos.
- Realizar ingeniería de detalles del aislador térmico, a través de planos de ensamble y fabricación.
- Evaluar la optimización del rendimiento de la producción en el proceso de soldadura en barra de cobre con níquel con la implementación del aislador térmico. Y realizar un análisis económico de la Implementación del diseño de un aislador térmico en el proceso de soldadura por mantequillado con níquel en barras de cobre.

1.4. Justificación e importancia

1.4.1 Justificación

Los cátodos permanentes o Placas Madre para la electro-obtención del cobre de Alta Pureza, son de carácter importante para dicho proceso, siendo uno de los pasos de mayor cuidado el proceso de su fabricación, caracterizándose su fabricación por ser complicada debido a que no hay mucha información sobre cómo es la fabricación de dichas placas, además que por la competencia misma del mercado cada fabricante de dichos elementos (cátodos permanentes o placas madre) guardan el proceso de fabricación para su propio beneficio empresarial y económico. En este caso en particular se realiza la fabricación mediante la unión de dos metales disimilares, la cual se hace mediante una serie de procedimientos particulares para lograr una adecuada soldadura, sin embargo, para mejorar la producción y productividad de ésta, se pudo determinar que era necesario mejorar el proceso de fabricación de las mismas. Entonces surge la pregunta consecuente, ¿en qué momento se producen los cortes o pausas de soldadura?, ¿es de lo más óptima el proceso de soldadura efectuada por la empresa PRODERMET S.R. LTDA.?, ¿Se pueden mejorar los procesos de soldadura?, ¿Cómo mejorar el proceso de soldadura de la empresa PRODERMET S.R. LTDA.?, Se llegó a la necesidad de tener que rediseñar el proceso. Esto es en el procedimiento del soldeo de la barra de cobre con el níquel para una adecuada adherencia se requiere que la temperatura de precalentamiento se encuentre entre los 300 y 500 °C, el problema se presenta que mientras se suelda la barra de cobre se enfría rápidamente, por la cual se tiene que dejar de soldar y volver a calentar la barra de cobre, este proceso se vuelve a repetir hasta en cuatro oportunidades ya que la barra presenta 4 tramos para soldarla, por lo cual nos vimos en la necesidad de diseñar un aislador térmico para poder soldar de manera más eficaz la barra de cobre de dichos cátodos permanentes con un Mantequillado de níquel para luego sobre este realizar la soldadura de la barra de cobre

con la placa de acero inoxidable. En este proceso se tiene la desventaja de que el cobre es buen disipador de calor, el cual no mantiene el suficiente calor para soldar de manera adecuada, entonces de ahí surge la idea de poder diseñar un aislador térmico para la soldadura de mantequillado con níquel que se realizará en dicha barra de cobre, para posteriormente soldarla con la plancha de Acero Inoxidable.

La investigación busca mantener una buena calidad de soldadura, pero con mayor PRODUCTIVIDAD y optimización de tiempos en el proceso de la fabricación de los cátodos permanentes. Hoy en día la empresa Prodermet puede realizar el mantequillado de 8 a 9 barras de cobre diarias, el promedio para terminar una barra de cobre con el mantequillado es de 40 a 45 min., esto dependerá de la habilidad del soldador; lo que para la empresa es muy poca producción de estas barras diarias, retrasando los demás procesos posteriores a este para la fabricación de los cátodos permanentes. Y con dicha implementación de del aislador térmico para el proceso de soldadura por mantequillado se busca realizar el promedio de 18 barras diarias, y así mejorando el proceso de soldadura.

Por otra parte, la investigación contribuye a ampliar los datos y afianzar conocimientos sobre la soldadura en metales disimilares y la aplicación de la soldadura por mantequillado, como se presenta en este caso en particular de los Cátodos Permanentes.

1.4.2 Importancia

La investigación contribuye a ampliar los datos y afianzar conocimientos sobre la soldadura en metales disimilares, como se presenta en este caso en particular de los Cátodos Permanentes.

1.5.Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

La implementación del diseño del aislador térmico en el proceso de soldadura por Mantequillado con níquel de una barra de cobre con metal de aporte de níquel, optimizará

la producción aplicable en la empresa Prodermet S.R.Ltda.,2023.

1.6.Alcances y limitaciones

1.6.1. Alcances

Como sabemos el objetivo general es diseñar un aislador térmico para soldadura en cobre de cátodos permanentes para la empresa Prodermet S.R.Ltda. para obtención de cobre de alta pureza mediante electro-obtención, optimizar la producción de soldadura, para esto se posee fuentes de investigación similares sobre aisladores y hornos para mantener el calor de manera eficiente, también libros de maestría en soldadura que nos ayudará a realizar las determinaciones y cálculos correspondientes, así mismo por programas computacionales donde se podrá diseñar el aislador térmico, de tal forma que se pueda constatar resultados.

La implementación de un aislador térmico podría ayudar a optimizar el proceso de soldadura, reduciendo el tiempo necesario para completar cada soldadura. Esto aumentaría la capacidad de producción de la empresa, permitiéndole entregar más productos a sus clientes en menos tiempo. Esto puede tener un impacto económico positivo al generar más empleos y aumentar los ingresos de la empresa PRODERMET S.R. LTDA.

1.6.2. Limitaciones

De acuerdo al fin del diseño e implementación del sistema de soldadura automatizado, se tienen que excluir ciertas consideraciones:

- Los procesos posteriores al proceso de soldadura no serán abarcados en el presente proyecto.
- El proyecto está dirigido a los cátodos permanentes (placas madres) usadas en las refinerías.

1.7.Sistema de variables de diseño

1.7.1. Variables independientes de diseño

- Aislador Térmico.

1.7.2. Variable dependiente de diseño

- Producción (Productividad).

1.8.Metodología de estudio

1.8.1. Tipo de investigación

Experimental

Se enfoca en manipular variables experimentales no probadas bajo condiciones controladas para explicar cómo o por qué ocurren ciertas situaciones o eventos.

Las simulaciones del aislador térmico extraen datos e información en los que se introducen variables específicas para manipularlas en condiciones controladas y medir sus efectos sobre el comportamiento observado a medida que aumentan o disminuyen. De esta forma, extraemos datos e información que nos permiten estudiar mejor las variables propuestas y el comportamiento del aislador térmico.

1.8.2. Nivel de investigación

Explicativa

Explica los criterios de diseño y cálculo del aislador térmico mediante fórmulas matemáticas. Se basa en un proyecto similar con funcionalidad similar como el proyecto de una fragua a gas para forja. Teniendo en cuenta los cálculos que ayudarán a obtener datos más realistas y aceptables para el diseño.

1.8.3. Técnicas e instrumentos de recolección de información

1.8.3.1. Técnicas

Las técnicas de recolección que se utilizarán en el desarrollo de la presente investigación serán los siguientes:

1.8.3.2. Técnica documental

Se analiza según la investigación de manuales de diseño en aplicaciones para transferencia de calor, los materiales de selección y utilización de los componentes para su construcción y análisis de los procesos de producción por soldeo

1.8.3.3. Técnica de observación

Se analiza el desarrollo del proceso de soldadura por mantequilla, los procedimientos de soldeo, los precalentamientos de la barra de cobre y los tiempos de soldeo con el aporte níquel.

1.8.3.4. Instrumentos

Los instrumentos de recolección que se han tomado en la presente investigación son:

- Manuales de diseño
- Libros de cálculos.
- Tablas de datos para analizar los valores.
- Pirómetros

1.8.4. Procesamiento y análisis de datos

Después de definir el tipo de diseño y los parámetros de diseño del aislador térmico y el estudio sobre los temas referentes al trabajo de investigación, se realizará una evaluación crítica de los datos obtenidos a fin de garantizar la veracidad y la confiabilidad de éstos. Posteriormente se proseguirá al diseño y cálculo a partir de los datos obtenidos, los conceptos que se utilizarán son:

- Conceptos generales de mecánica de fluidos.
- Transferencia de Calor.
- Ingeniería de Materiales.
- Análisis económico.
- Uso de software para el diseño: SOLIDWORKS, ANSYS, etc.

CAPÍTULO II:

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Podemos nombrar algunos antecedentes del problema:

INTERNACIONAL

- Según Arrechea & Paneso (1998) en su investigación titulada: Diseño y cálculo de un horno para el proceso de soldaduras blandas. (Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico). Corporación universitaria autónoma de occidente de ingenierías.

Resumen:

Se busca diseñar un horno para procesos de soldaduras blandas que pueda generar excelentes uniones con buenos acabados, ya que a las piezas producidas no se les puede hacer maquinado alguno.

Conociendo como soldaduras blandas las que podemos soldar con punto bajo de fusión. Es decir, las aleaciones que pasan del estado sólido al líquido en temperaturas de 150° a 500° C tales como aluminio, cobre y ligas a base de magnesio y plata.

El horno tendrá como características especiales un control de temperaturas y un sistema para desalojar los gases producidos en el desarrollo del proceso, así como buena capacidad para manejar piezas en serie economizando tiempo y dinero.

Conclusiones:

1. Utilizar un horno en el proceso de soldadura se vuelve imprescindible cuando se trata de piezas de geometría compleja.
2. El horno debe funcionar con electricidad para garantizar un control preciso de la temperatura.
3. Este método nos permite evitar la soldadura en ambientes abiertos, considerando

su alta carga de contaminantes y peligros tóxicos.

4. Puede reducirse la necesidad de contar con varios operarios para llevar a cabo este proceso, pudiendo ser manejado por un solo operador.
5. Este procedimiento se adapta a la soldadura de una amplia variedad de metales.
6. La eficiencia económica de trabajar con un horno en este proceso se hace evidente en los resultados obtenidos.
7. Los costos de operación y mantenimiento son muy pocos.

- Según Wandurraga & Nieto (2016) en su investigación titulada: Diseño y construcción de un prototipo de horno para la realización del proceso de stir casting con aleaciones de aluminio. (Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico). Universidad Libre de Colombia.

Objetivos:

Diseñar y construir un prototipo de horno para la realización del proceso de Stir casting con aleaciones de aluminio.

Conclusiones:

Al concluir la fase de investigación, se determinó que la información reunida desempeñaba un papel crucial en la comprensión del funcionamiento, métodos de construcción y criterios de diseño de cada uno de los componentes del horno prototipo. Mediante el empleo del software CAD Solid Works 2015, se procedió a modelar todos los elementos seleccionados previamente, con el propósito de obtener una representación visual precisa del prototipo antes de su fabricación. Esto permitió una evaluación de su forma geométrica y garantizó que cumpliría con los requisitos establecidos en base a los cálculos y los parámetros de diseño aplicados

Durante el proceso de construcción del prototipo, se identificaron desafíos para

obtener los materiales específicos necesarios, ya que algunos elementos estaban disponibles solo en medidas estándar o resultaba difícil acceder a ellos debido a su escasez en el mercado o su alto costo. En respuesta a esta situación, se buscó asesoramiento profesional para seleccionar los materiales más adecuados y los procesos de fabricación apropiados. Un ejemplo de esto fue la manta cerámica utilizada como aislamiento interno del horno, que originalmente tenía un grosor de una pulgada, lo que requirió el uso de una capa más gruesa sin afectar el desarrollo del proyecto.

En cuanto a la geometría del prototipo, se determinó que la forma más eficaz para llevar a cabo el proceso de Stir casting, particularmente con un agitador, era una estructura cuadrada fija al suelo, con el objetivo de prevenir derrames debido al movimiento del agitador.

Mediante el uso de un método metalográfico, se observó la adecuada adherencia de las partículas de refuerzo (alúmina) en la matriz de aluminio, lo que dio como resultado la generación de un material compuesto. La variación en los porcentajes de refuerzo en el material base permitió realizar distinciones significativas.

- La forma en que se dispersa el refuerzo dentro de la matriz.
- A medida que el porcentaje de refuerzo aumenta, las agrupaciones cambian su configuración.
- A medida que se incrementa el porcentaje de refuerzo, se vuelve más evidente la unión del refuerzo con el material base.

Basándonos en los resultados derivados de la implementación del método metalográfico, se puede afirmar que el horno prototipo ejecutó de manera efectiva el proceso de Stir casting, culminando en la producción exitosa de un material compuesto. Esto demuestra el acertado proceso de selección de los materiales que conforman los componentes del prototipo, respaldado por cálculos teóricos y los parámetros de diseño

establecidos.

- Según Monrroy (2016) en su investigación titulada: Diseño una fragua a gas para forja con fines didácticos. (Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico). Universidad de El Salvador.

Conclusiones:

Al concluir la fase de desarrollo de la investigación, se pudo establecer que la información recolectada desempeñó un papel fundamental en la comprensión de cómo funcionan, se diseñan y se seleccionan los criterios de cada uno de los componentes que conforman la propuesta de una fragua a gas con fines didácticos. Utilizando el programa CAD Solid Works 2020, se llevaron a cabo las representaciones en 3D de todos los elementos previamente escogidos, lo que resultó en la creación de planos de construcción. Este enfoque permitió la observación detallada de su forma geométrica y garantizó que se cumplieran los requisitos necesarios, establecidos con base en los datos obtenidos de los cálculos y la aplicación de los parámetros de diseño seleccionados, asegurando así que el diseño se ajustara a las especificaciones necesarias para la realización del proceso de forja.

Durante la etapa de diseño del prototipo, se identificaron desafíos para la adquisición de materiales específicos tal como se derivaban de los resultados de los cálculos. Esto se debió a que ciertos elementos se encontraban disponibles solo en tamaños estándar o resultaba complicado acceder a ellos debido a su escasez en el mercado o su elevado costo. Siguiendo las recomendaciones proporcionadas por el asesor, se logró la selección de los materiales más adecuados y los procesos de fabricación más idóneos para la construcción de la fragua. Un ejemplo destacado fue el caso de los ladrillos refractarios utilizados para delimitar el cuerpo y proporcionar el aislamiento interno, que estaban fabricados de material refractario blanco, el cual tiene una menor capacidad de aislamiento en comparación con los

ladrillos refractarios rojos. Para mejorar el aislamiento y reducir las pérdidas de calor, se aplicó una capa de cemento refractario.

NACIONAL

- Según Ramos (2018) Título: Estudio de la soldabilidad de la unión disimilar de un cobre con 5% de Zn con acero estructural Astm A36. (Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico). Pontificia universidad Católica del Perú.

Conclusiones:

1. De acuerdo con los resultados encontrados en la presente tesis, se recomienda el empleo de aporte ECuSn-C para las uniones soldadas mediante el proceso SMAW. Este aporte presenta un costo que es un 8% menor que el aporte ECuSn-A; además que las uniones presentan un mejor acabado superficial.
2. Se han obtenido uniones soldadas con las propiedades mecánicas satisfactorias en uniones disimilares formadas por el acero ASTM A36 y la aleación Cu-5Zn ambos de 3.0 mm de espesor, mediante el proceso de soldeo SMAW empleando como aportes ECuSn-A y ECuSn-C.
3. Todas las uniones soldadas obtenidas con ambos aportes, ensayadas a tracción, rompen en el metal Cu-5Zn. Estas uniones presentan una resistencia máxima a tracción promedio que varía entre el 80% y 84 % de la resistencia del metal base Cu-5Zn. Las uniones obtenidas con el aporte ECuSn-C (Cu-9Sn-3Ni) alcanzan en promedio una resistencia a la tracción de 243 Mpa de; mientras que, las uniones obtenidas con el aporte ECuSn-A (Cu-6Sn) logran alcanzar 234 Mpa en promedio de resistencia a la tracción.
4. Los valores de elongación (ductilidad) obtenidos a través del ensayo de tracción,

en las uniones soldadas, muestran que con ambos aportes se alcanzan valores muy similares a 22 %.

5. De los ensayos de barrido de micro dureza Vickers realizados a las uniones soldadas obtenidas con ambos aportes se aprecia que no existe una gran diferencia en los valores de dureza encontrados en ambas ZACs y metales de aporte.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Soldadura TIG

La técnica de soldadura TIG, también denominada GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), implica el empleo de un electrodo de tungsteno que no se consume. En este proceso, se protege el electrodo, el arco y la zona circundante al baño de fusión de la atmósfera mediante la utilización de un gas inerte. En el caso de ser necesario añadir material de relleno, este se introduce desde un lado del baño de fusión. (Larry, 2016)

La soldadura TIG se destaca por producir uniones extremadamente limpias y de alta calidad, ya que no genera escoria. Este enfoque elimina la posibilidad de inclusiones en el material soldado y no requiere un proceso de limpieza posterior. Además, la soldadura TIG es versátil y puede aplicarse a la mayoría de los tipos de metales. Es especialmente eficaz en la soldadura de aluminio y aceros inoxidable, donde la calidad de la unión es de suma importancia. Esta técnica se utiliza predominantemente en la unión de juntas de alta calidad en sectores como centrales nucleares, industrias químicas, construcción aeronáutica y la industria alimentaria. (Larry, 2016)

Las ventajas y limitaciones de la soldadura TIG son:

Tabla 1

Ventajas y Limitaciones - Soldadura TIG

Ventajas	Limitaciones
Alta calidad de soldadura	Disminuye la portabilidad (cilindros de gases)
Toda posición de soldadura	No se recomienda para aire libre por las brisas
Se pueden soldar casi todos los metales	El material base debe estar muy limpio
Es excelente para espesores finos	Bajas tasas de deposito
No es necesario el material de aporte en algunos casos	Se necesita destreza por parte del operador
No hay escoria	Es un proceso muy lento
No hay salpicadura	

Aplicaciones

El método TIG es adecuado para la soldadura de una amplia variedad de materiales, abarcando desde el aluminio y el magnesio hasta materiales susceptibles a la oxidación, como el titanio. Es un proceso en su mayoría llevado a cabo de manera manual y presenta una tasa de deposición más baja en comparación con otros métodos de soldadura, lo que lo hace idóneo para aplicaciones que requieren una calidad visualmente impecable. (Larry, 2016).

Tipo de corriente

La alimentación de energía para la soldadura TIG puede ser a través de corriente continua (DC) o corriente alterna (AC). (Larry, 2016).

2.2.1.1. TIG Corriente Continua (DC)

Existen dos tipos la corriente continua directa y la inversa, la corriente directa tiene penetración profunda y estrecha; y la inversa tiene una penetración ancha y menos profunda. TIG Corriente Alterna (AC) (Larry, 2016)

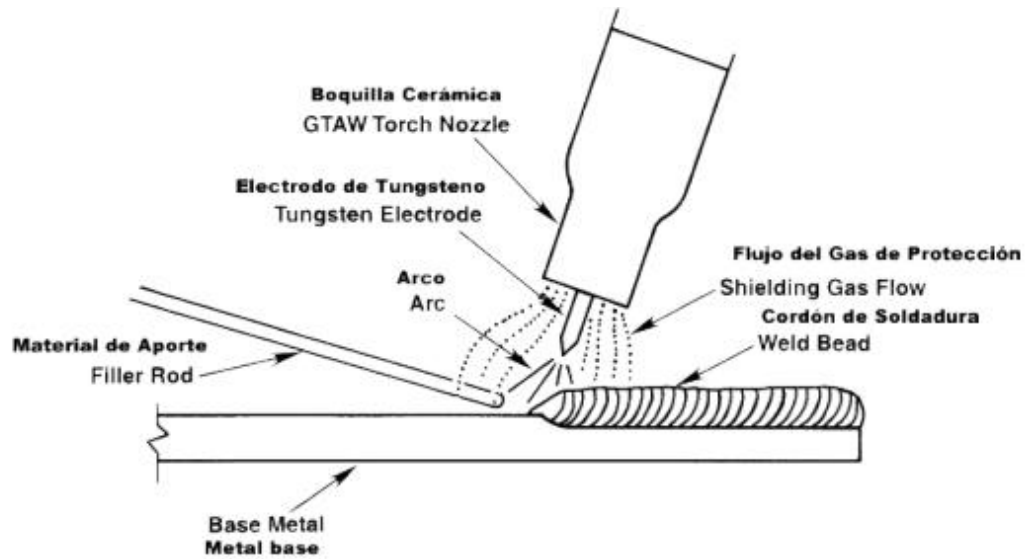
Este método generalmente se emplea en la soldadura de aleaciones livianas, donde típicamente se logra una penetración de nivel medio y se distribuye equitativamente el calor con un 50% en la pieza y un 50% en la punta del electrodo. (Larry, 2016).

2.2.1.2. Proceso GTAW o TIG

Principios del proceso TIG

Figura 3

Principios del proceso TIG

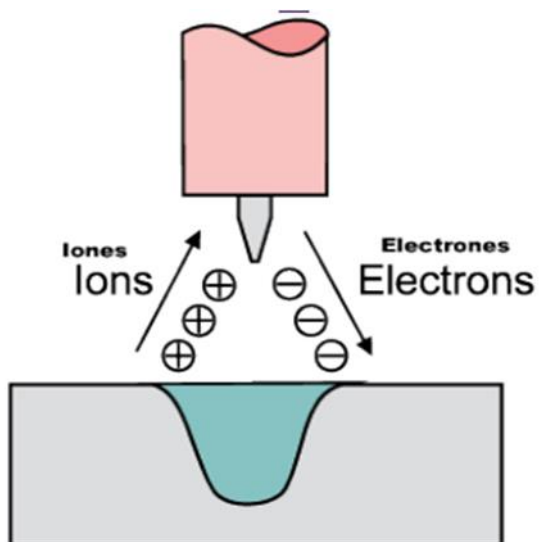


Nota. Tomado de manual de soldadura. Fuente: Larry L. (2016)

Polaridad del electrodo

Figura 4

Polaridad del electrodo a DC-



Nota. Tomado de manual de soldadura. Fuente: Larry L. (2016)

- **Polaridad a Corriente Continua negativa (DC-)**

Tabla 2

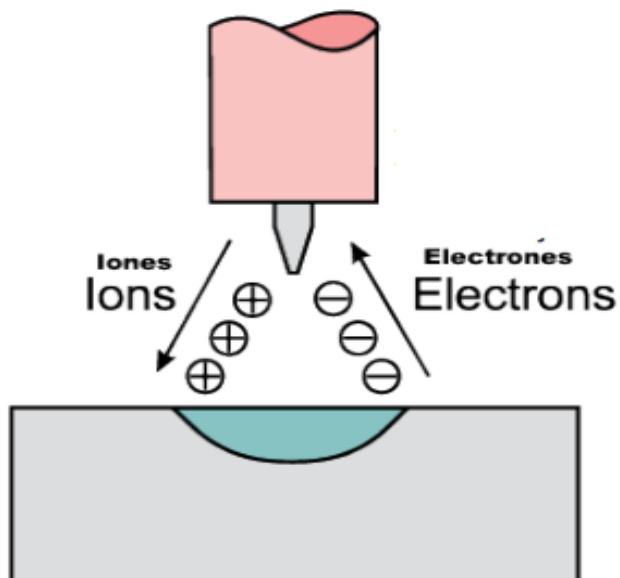
Polaridad del electrodo DC-

Principios de polaridad de electrodo
70% del calor sobre la pieza
30% del calor en el electrodo
Penetración angosta y profunda
Excelente capacidad del electrodo (un electrodo de 1/8'' trabajará a 400 Amps)

Nota. Tomado de manual de soldadura. Fuente: Larry L. (2016)

Figura 5

Polaridad del electrodo a DC+



Nota. Tomado de manual de soldadura. Fuente: Larry L. (2016)

- **Polaridad a Corriente Continua Positiva (DC+)**

Tabla 3

Polaridad del electrodo DC+

Principios de polaridad de electrodo
30% del calor sobre la pieza
70% del calor en el electrodo
Penetración somera

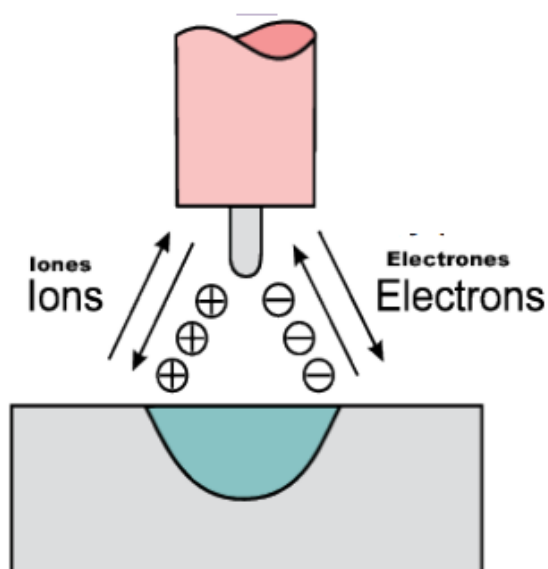
Limpieza de óxidos

Baja capacidad del electrodo (un electrodo de 1/8'' trabajará a no más de 120 Amps)

Nota. Tomado de manual de soldadura. Fuente: Larry L. (2016)

Figura 6

Polaridad del electrodo a AC



Nota. Tomado de manual de soldadura. Fuente: Larry L. (2016)

- **Polaridad a Corriente Alterna (AC)**

Tabla 4

Polaridad del electrodo AC

Principios de polaridad de electrodo

50% del calor sobre la pieza

50% del calor en el electrodo

Penetración media

Limpieza de óxidos cada mitad del ciclo

Baja capacidad del electrodo (un electrodo de 1/8'' trabajará a 225 Amps)

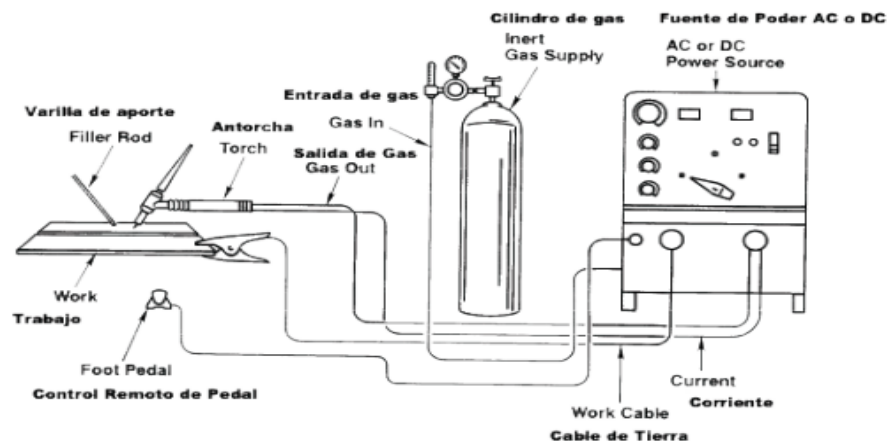
Nota. Tomado de manual de soldadura. Fuente: Larry L. (2016)

a) Conexión por tipo de enfriado

1. Conexión Típica enfriada por aire

Figura 7

Esquema de conexión típica enfriada por aire

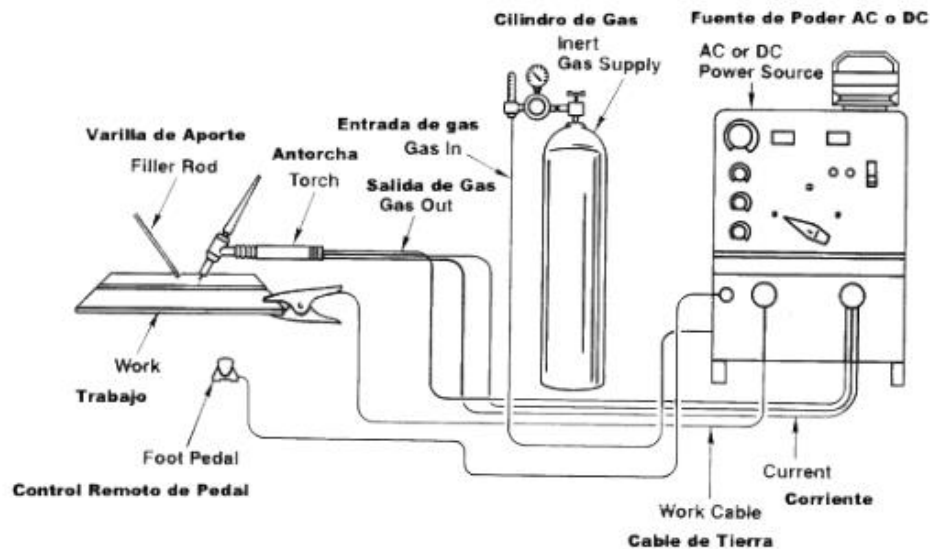


Nota. Tomado de manual del soldador CESOL, Fuente: (Riesco, 2006)

2. Conexión Típica enfriada por Agua

Figura 8

Esquema de conexión típica enfriada por agua



Nota. Tomado de manual del soldador CESOL, Fuente: (Riesco, 2006)

b) Tipo de Gas

- Argón: Utilizar argón ofrece ventajas como un arco estable y suave, costos reducidos y una mayor resistencia al contacto con el aire.

- Helio: El helio proporciona ventajas que incluyen una zona afectada por el calor más pequeña y un arco más caliente en comparación con el argón.

- Mezclas de Argón/Hidrógeno: Emplear mezclas de argón e hidrógeno conlleva ventajas como un arco aún más estrecho, una soldadura más limpia y una mayor velocidad en el proceso.

- Mezclas de Argón/Nitrógeno: Las mezclas de argón y nitrógeno ofrecen ventajas tales como una mayor generación de energía en el material base y son ideales para la soldadura de cobre (Larry, 2016).

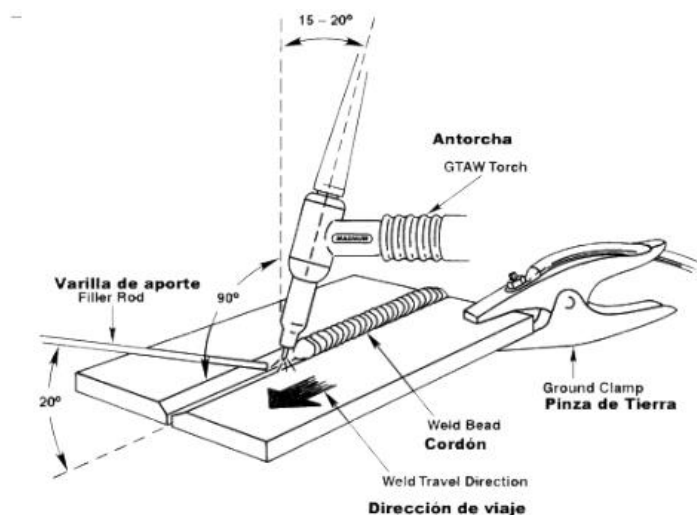
c) Empleabilidad y Accesorios

1. Empleabilidad

En el esquema adjunto se visualizá la manera correcta de la inclinación de la antorcha (Larry, 2016).

Figura 9

Ángulo adecuado de la antorcha

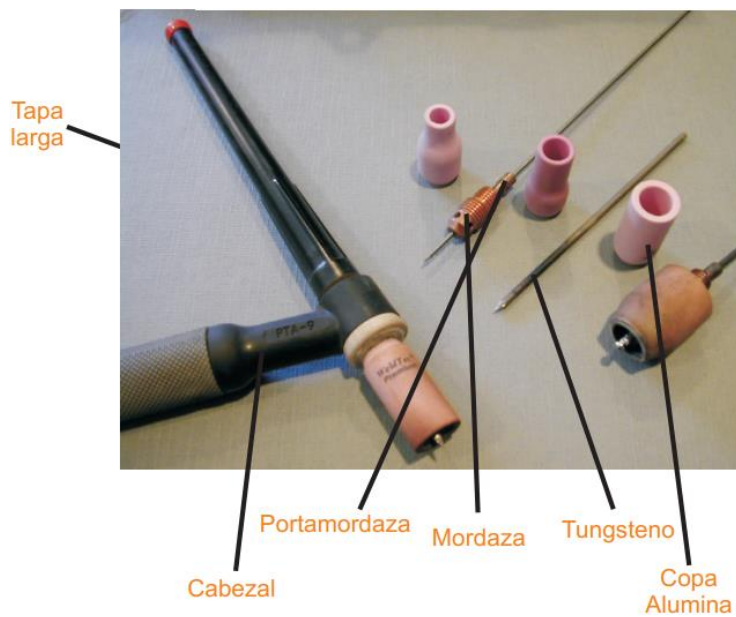


Nota. Tomado de manual del soldador CESOL, Fuente: (Riesco, 2006)

2. Accesorios de soldadura TIG

Figura 10

Accesorios para soldadura TIG



Nota. Tomado de manual del soldador CESOL, Fuente: (Riesco, 2006)

2.2.2. Soldadura De Metales Disimiles

Hoy en día, estamos presenciando un aumento significativo en la utilización de la soldadura de materiales diferentes, lo que demanda la aplicación de criterios diversos para la selección de materiales de aporte y la viabilidad de la soldadura entre materiales que presentan diferencias en su composición o propiedades (Robert, 2015)..

Consideramos como materiales disimiles a aquellos que sean químicamente diferentes como en la unión de Cu (cobre) con Acero inoxidable, o a los metales con distinto porcentaje de aleación, como aceros ferríticos con un acero austeníticos (Robert, 2015)..

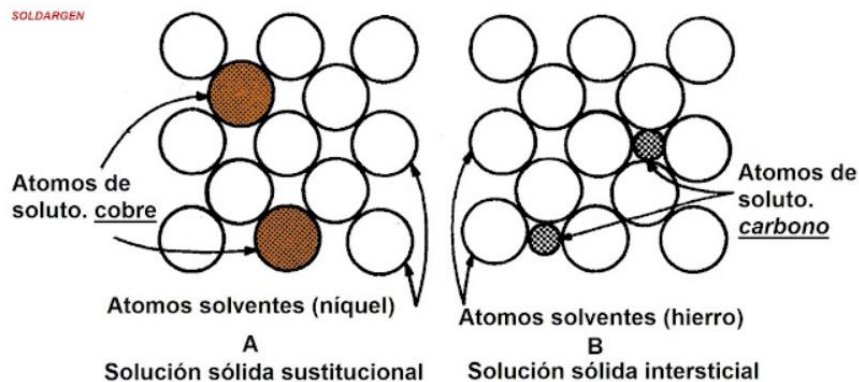
La composición del metal de soldadura resultante puede diferir de los componentes y variara con: Diseño de la junta, Proceso de Soldadura, Metal de aporte y Procedimiento de soldadura. (Robert, 2015).

Por lo tanto, es esencial identificar estos elementos y analizar los tratamientos térmicos aplicados a la estructura soldada, con el propósito de evaluar sus características, con el enfoque primordial en la creación de una unión que cumpla con las demandas de su aplicación en servicio.

Durante la soldadura cada metal es fundido en un baño de fusión. La cual se pueden presentar solución solida de sustitución (Cu-Ni) o una solución solida intersticial (Ferrita). (Robert, 2015).

Figura 11

Soldadura de metales disimiles



Nota. Tomado de Solargen. Fuente: Soldabilidad de materiales disimiles (<https://soldargen.blogspot.com/2015/07/soldabilidad-de-materiales-disimiles.html>)

El proceso de enfriamiento y solidificación ejerce una influencia significativa en las fases presentes en la estructura del material metálico.

El material de aporte empleado en la soldadura de metales distintos debe ser capaz de fusionarse con el metal base sin generar una microestructura susceptible a la fractura.

La mayoría de los metales son eficientes conductores de calor, aunque algunos lo son más que otros. Cuando se suelda un par de metales disímiles con diferentes niveles de conductividad, es esencial planificar el procedimiento teniendo en cuenta estas disparidades. El precalentamiento contribuye a reducir la cantidad de calor requerido para fundir el metal base.

También se debe considerar la diferencia en los coeficientes de expansión térmica de los metales, ya que estos pueden originar tensiones de tracción en uno de los metales durante el proceso de enfriamiento, mientras que generan tensiones de compresión en el

otro.

La aplicación de precalentamientos o tratamientos térmicos posteriores se vuelve más compleja en algunas combinaciones de metales distintos. En ocasiones, puede ser necesario precalentar un metal mientras que el otro no lo requiere. En estos casos, se puede optar por aplicar el precalentamiento de manera independiente al metal que lo necesita.

En este contexto específico, examinaremos la soldadura de metales diferentes, en particular entre cobre y acero inoxidable, centrándonos especialmente en la primera soldadura que se realiza en cobre con el uso de un material de aporte de níquel. (Robert, 2015).

2.2.3. Cobre

El cobre, que se caracteriza por tener un punto de fusión de 1084 grados Celsius, es uno de los metales más ampliamente utilizados en la industria. Se distingue por su pureza, llegando en la mayoría de los casos a un 99.95% de pureza gracias al proceso de refinación electrolítica. Esto lo convierte en un material muy valorado en aplicaciones que requieren alta conductividad eléctrica, ya que el cobre es conocido por su excelente capacidad en este aspecto. (Robert, 2015).

El cobre se puede alea con otros metales para cambiar o mejorar ciertas propiedades. Las aleaciones más comunes son:

1. Latones: Estas son mezclas de cobre con zinc, lo que confiere características de resistencia al trabajo en frío y una sólida resistencia a la corrosión, especialmente cuando el contenido de zinc no supera el 36%. Sin embargo, las aleaciones con un contenido de zinc entre el 38% y el 46% son más apropiadas para aplicaciones que implican trabajo a altas temperaturas. Puede analizarse el diagrama de fases del sistema Cu-Zn. (Robert, 2015).
2. Bronces: Son las aleaciones de cobre con algún metal que posea el 12%. Los

bronces más comunes son los siguientes:

- Bronces al estaño (11% de estaño)
- Bronces al silicio (5% de silicio)
- Bronces al aluminio (4 a 11% de aluminio)
- Bronce al berilio (0.6 a 2% de berilio)

En el caso de propiedades del cobre puro podemos tener Resistencia a la tracción de 30.3 Ksi, resistencia a la fluencia de 4.8 ksi y un porcentaje de elongación de 60%. El cobre es resistente a la oxidación de agua dulce y salada, soluciones alcalinas. Tiene una conductividad térmica de 400 W/ (K.m), durante el soldeo y debido a su elevada conductividad térmica será necesario precalentar y garantizar una buena fusión (Robert, 2015).

El cobre normalmente en radiadores para los automóviles, campo naval por su resistencia a la corrosión, cables y conectores eléctricos, tubos intercambiadores de calor, etc. (Robert, 2015).

2.2.4. *Níquel*

Es un metal de color plateado, buen conductor de electricidad y del calor. La mayor parte del níquel comercial se emplea en el acero inoxidable y otras aleaciones a la corrosión (Udima, 2017).

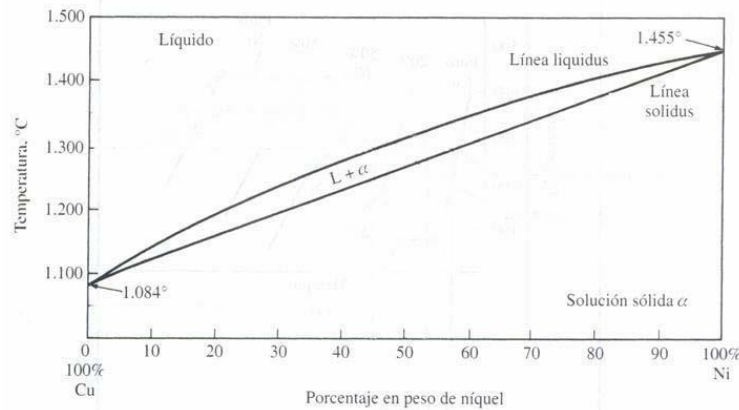
Para un caso particular en el proceso de soldadura se tiene un metal de aporte de níquel con titanio, se emplea para cubrir el acero y reparar las fundiciones de hierro fundido o también se puede utilizar para uniones entre el níquel o aleaciones de níquel con aceros inoxidables o ferríticos.

El níquel-titanio algunas de sus aplicaciones son para reparar fracturas, termostatos y válvulas de control, uniones de canalizaciones de submarinos y conducciones submarinas, en la odontología y en procesos de soldadura especializada (Udima, 2017).

Podemos observar el diagrama de fases del Ni-Cu el cual nosotros realizaremos el mantequillado en la barra de cobre con un metal de aporte Ni:

Figura 12

Diagrama de fases Cu-Ni



Nota. Tomada de Diagrama de fases Cobre Níquel. Fuente: (Ingelibre, 2014)

El cobre y el níquel tienen solubilidad total tanto en estado líquido como sólido. En el diagrama de la figura 13 se muestra el diagrama de fases de este sistema en el que se representa la composición química de la aleación en tanto por ciento en peso en abscisas y la temperatura en °C en ordenadas. Este diagrama se ha determinado bajo condiciones de enfriamiento lento y a presión atmosférica y no tienen aplicación para aleaciones que sufren un proceso de enfriamiento rápido. El área sobre la línea superior del diagrama, línea de líquidus, corresponde a la región en la que la aleación se mantiene en fase líquida. El área por debajo de la línea inferior, línea sólidus, representa la región de estabilidad para la fase sólida. Entre ambas líneas se representa una región bifásica en la que coexisten las fases líquida y sólida. La cantidad de cada fase presente depende de la temperatura y la composición química de la aleación. (Ingelibre, 2014).

2.2.5. Soldadura de cobre con acero inoxidable

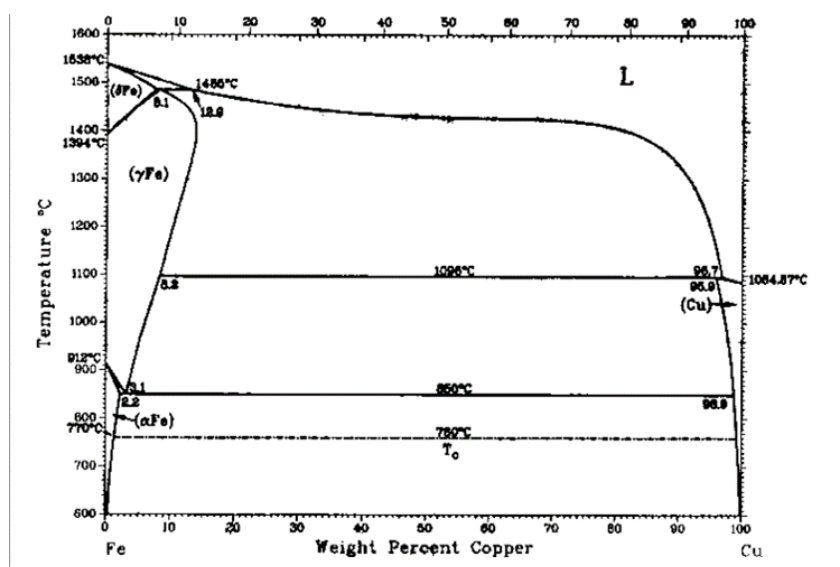
La dilución (5%) del cobre con hierro conduce a grietas en caliente. El cobre tiende a difundirse entre los bordes de grano de la zona térmicamente afectada del acero, produciendo fisuras por el soldeo fuerte. Al solidificarse estos metales aparecen la fase de

cobre-hierro que pueden dar problemas de corrosión (Socolovsky, 2016).

Para evitar la dilución con hierro del metal de aportación se utiliza el untado (buttering) de níquel sobre el acero.

Figura 13

Diagrama de fases del sistema Fe-Cu



Nota. Tomada de Tesis Sistema Fe-Cu. Fuente: (Socolovsky, 2016)

Los cobres comerciales pueden unirse a aceros ferríticos o aceros inoxidables austeníticos con metal de aportación ERNi-3. Si se hace con previo untado se garantiza mejor calidad. Se tiene que precalentar el cobre entre 200°C a 500 °C. El precalentamiento es necesario para neutralizar la conductividad térmica del cobre, sino no se alcanzaría la temperatura del punto de fusión para soldar (Socolovsky, 2016).

2.2.6. Cátodos permanentes de electro-obtención

2.2.6.1. Proceso de electro-obtención.

Este proceso consiste en recuperar el metal desde una solución de lixiviación, y depositarlo en un cátodo, utilizando el proceso de electrolisis. Para este proceso se hace circular a través de la solución electrolítica, una corriente eléctrica continua de baja

intensidad entre un ánodo (la solución misma) y un cátodo. Haciendo que los iones del metal de interés sean atraídos por el cátodo depositándose en él y las impurezas quedan disueltas en el electrolito (Coldeco, 2016).

La electro-obtención permite recuperar metales como cobre, oro y plata que de otra manera o forma serian inviables (Coldeco, 2016).

En este caso en particular a tratar, es la electro-obtención del cobre, la cual tendría que tener como electrolito y cátodos necesarios lo siguiente (Coldeco, 2016).:

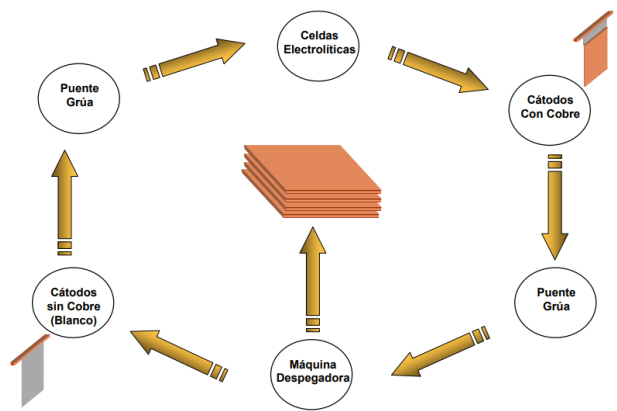
Tabla 5
Electrolito y cátodos para electro - obtención del cobre

METAL	ELECTROLITO	CATODO
Cobre	Solución de sulfato	Acero Inoxidable

Nota. Elaboración Propia

Se presenta el detalle del proceso de cosecha y siembra del cobre por electro-obtención.

Figura 14
Proceso de cosecha y siembra del cobre

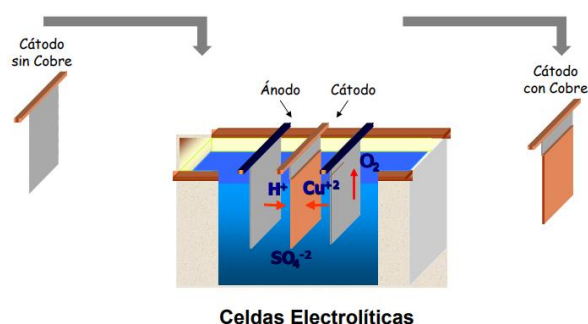


Nota. Tomado de Reposición de Electrodos Catódicos Permanentes. Fuente: (Coldeco, 2016)

Se muestra detalle del proceso de siembra del cobre mediante electro-obtención.

Figura 15

Siembra del cobre mediante electro obtención



Nota. Tomado de Reposición de Electrodo Catódicos Permanentes. Fuente: (Coldeco, 2016)

2.2.7. Cátodos Permanentes

En este caso específico, se centrará principalmente en la evaluación de los cátodos permanentes utilizados en el proceso de electro-obtención de cobre, dado que es en éste dónde se llevará a cabo la soldadura. (Coldeco, 2016).

Estos cátodos corresponden a un sustrato de un metal sobre el cual se deposita el metal de interés. Normalmente estos cátodos son llamados placas madres, originalmente eran de titanio, pero actualmente son de acero inoxidable 316L.

Figura 16

Placa madre o cátodos permanentes



Nota. Modelo de un tipo de diseño de una placa de cátodo permanente. Fuente: Glencore Technology (<https://www.glencoretechnology.com>)

2.2.8. Aislantes Térmicos

Los aislantes o aisladores térmicos son los materiales que tienen la capacidad de oponerse al paso de calor por conducción, convección y radiación (Schemin, 2022).

Se emplean materiales aislantes debido a su contribución a la eficiencia energética, ya que son capaces de mantener una temperatura constante en áreas específicas. Existen diversas categorías de aislantes térmicos, que mencionaremos a continuación. (Schemin, 2022):

- **Poliuretanos:** Llamados también como plásticos aislantes, se utilizan sobre todo las espumas de poliuretano rígido.

Esta espuma se considera un aislante sintético, podemos mencionar que tiene buena rigidez estructural, baja absorción de humedad y su colocación es relativamente sencilla.

- **Fibras minerales:** Existen las de origen inorgánico (lana de vidrio y de roca), las orgánicas naturales (celulosa, lanada de oveja y lana de algodón).
- **Metales:** El aluminio en específico, en ciertas condiciones sirve como

termoaislante. Para que sea efectivo tiene que colocarse varias capas muy delgadas.

Figura 17

Materiales aislantes



Nota. Tomado de ASTURMEX, Fuente: (ASTURMEX, 2020)

Tomando como referencia los hornos utilizados para calentar metales, seguimos un enfoque de diseño similar, considerando los componentes empleados en su construcción, como el ladrillo refractario, que desempeña una función de aislamiento térmico. Adaptaremos este enfoque para abordar la solución de nuestro problema planteado.

El aislamiento es uno de los factores más importantes en el desempeño de cualquier horno. Ayuda a maximizar la eficiencia energética y evitar la pérdida de calor.

Una de las deficiencias más comunes es el desperdicio térmico, que puede afectar a la producción y el presupuesto.

El aislamiento térmico para hornos debe ser adecuado, seguro y confiable. Algunos de los materiales aislantes usados en hornos son los siguientes:

- Fibra cerámica: Este producto es fabricado con sílice y alúmina. Gracias a su composición tiene baja conductividad térmica permitiendo calentar y enfriar más rápido.

- Ladrillos refractarios: Son un tipo de aislamiento térmico para hornos que se fabrican para soportar altas temperaturas durante periodos prologados.
- Fibra de vidrio: Es un excelente material impermeable que permite reducir los costes energéticos mientras brinda protección contra los extremos del clima.
- Perlita expandida: Es un material no combustible que se utiliza como aislante térmico por sus características (ASTURMEX, 2020)

2.2.9. Transferencia de Calor

La transferencia de calor es el proceso físico por el que se intercambia energía de calor entre distintos cuerpos que están a distintas temperaturas.

Este calor se puede transferir de tres formas: por conducción, por convección y por radiación. Explicaremos seguidamente (Yunus & Cengel, 2007):

2.2.9.1. Conducción

Se refiere a la transferencia de calor que ocurre mediante el contacto directo entre las partículas de un medio material. La velocidad o tasa de conducción de calor a través de dicho medio está influenciada por la configuración geométrica, el grosor, el material de construcción y la diferencia de temperatura presente a lo largo de él. La rapidez de conducción de calor viene dada por la ecuación de Fourier, la cual se expresa de la siguiente manera (Yunus & Cengel, 2007):

$$Q_{cond.} = kA \frac{T_h - T_c}{L} \quad \dots (2.1)$$

Q cond. = Rapidez de transferencia de calor por conducción

K= Conductividad térmica

A= Área

Th= temperatura mayor

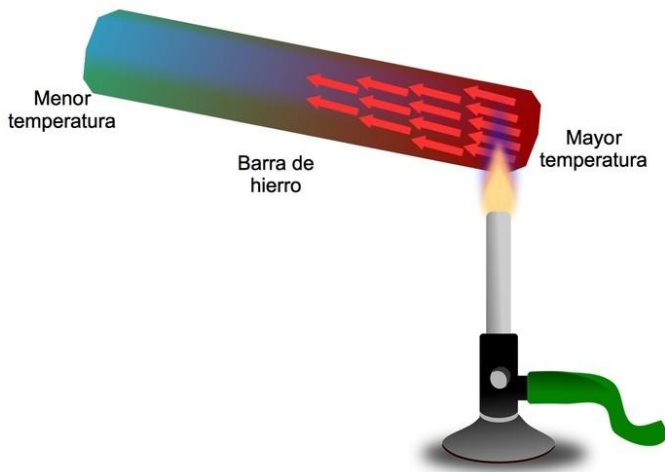
Tc= temperatura menor

L= Espesor

La rapidez de conducción de calor de conducción se expresa en watts (W).

Figura 18

Transferencia de calor por conducción



Nota. Es una barra de hierro sometida a un mechero de fuego. Tomado de Transferencia de calor. Fuente: TodaMateria (<https://www.todamateria.com/transferencia-de-calor/>)

La conducción del calor sólo ocurre si hay diferencias de temperatura entre dos partes del medio conductor. Para un volumen de espesor Δx con área de sección transversal A y cuyas caras opuestas se encuentran a diferentes T_1 y $T_2 > T_1$, como le muestra en la figura 20, se encuentra que el calor ΔQ transferido en un tiempo Δt fluye del extremo caliente al frío. Si se llama H (en Watts) al calor transferido por unidad de tiempo, la rapidez de transferencia de calor $H = \Delta Q / \Delta t$, está dada por la ley de conducción de calor de Fourier (Yunus & Cengel, 2007).

$$H = \frac{dQ}{dt} = -kA \frac{dT}{dx} \quad \dots (2.2)$$

Donde k (en W/m.K) se llama conductividad térmica del material, magnitud que representa la capacidad con la cual la sustancia conduce calor y produce la consiguiente variación de temperatura; y dT/dx es el gradiente de temperatura. El signo menos indica

que la conducción de calor es en la dirección decreciente de la temperatura.

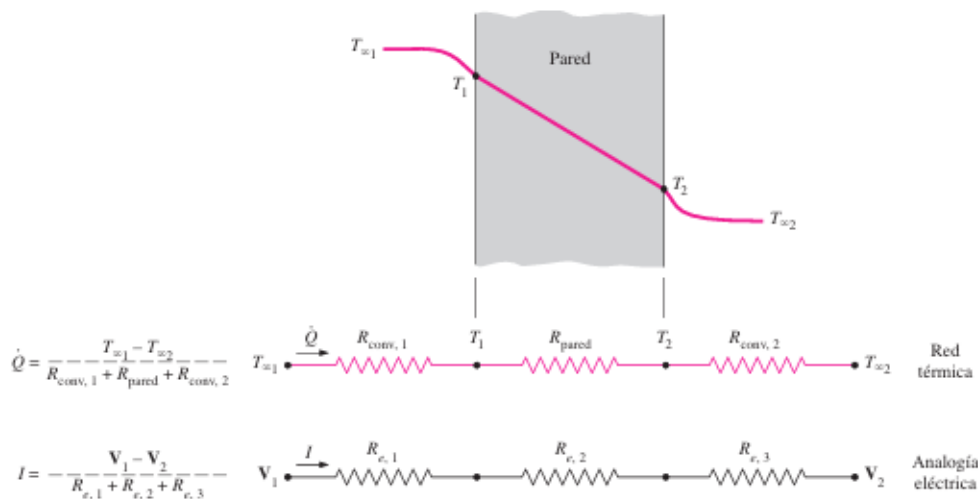
a) Conducción unidimensional de estado estable.

La conducción unidimensional implica que solo se requiere una coordenada para representar la variación espacial de las variables dependientes. El propósito es desarrollar fórmulas que describan cómo se distribuye la temperatura y cómo se produce la transferencia de calor por conducción en geometrías típicas.

La distribución de la temperatura en la pared se determina resolviendo la ecuación de calor con las condiciones de frontera apropiadas. (Yunus & Cengel, 2007)

Figura 19

Red térmica en una pared



Nota. Tomado de Transferencia de Calor y Masa. Fuente: (Yunus & Cengel, 2007)

Utilizaremos la ley de Fourier para determinar la transferencia de calor por conducción. La cual es la siguiente (Yunus & Cengel, 2007).

$$qx = -kA \frac{dT}{dx} = \frac{KA}{L} (T_{s1} - T_{s2}) \quad \dots (2.3)$$

Y el flujo del calor viene representado por la siguiente formula:

$$q''x = \frac{qx}{A} = \frac{K}{L} (T_{s1} - T_{s2})$$

En este caso en particular podemos ver diferentes tipos de resistencia, que es una razón de potencial de transmisión a la transferencia de calor correspondiente.

La resistencia por conducción:

$$Rt_{cond.} = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{qx} = \frac{L}{KA} \quad \dots (2.4)$$

La resistencia por convección, que se puede sacar de la ecuación de enfriamiento de newton:

$$Rt_{conv.} = \frac{T_{s1} - T_{\infty}}{q} = \frac{1}{hA} \quad \dots (2.5)$$

La resistencia por radiación:

$$Rt_{rad.} = \frac{T_{s1} - T_{alr}}{q_{rad}} = \frac{1}{h_r A} \quad \dots (2.6)$$

La resistencia por contacto, el cual se debe a los efectos de rugosidad de la superficie:

$$Rt_{c.} = \frac{T_A - T_B}{q''x}$$

b) Conducción bidimensional de estado estable.

De acuerdo con la ley de Fourier el flujo local de calor en el sólido es un vector que en todas partes es perpendicular a las líneas de temperatura constante (isotermas).

Recuerde que hay dos objetivos principales. El primero es determinar la distribución de temperaturas en el medio que necesita determinar $T(x, y)$ (Yunus & Cengel, 2007).

Para condiciones de una conductividad térmica constate, es la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad \dots (2.7)$$

En estos casos, la mejor alternativa es a menudo la que se utiliza una técnica numérica como lo es el método de diferencias finitas o del elemento frontera. De a la facilidad de su aplicación, el método de diferencias finitas es adecuado para su tratamiento introductorio de las técnicas numéricas (Yunus & Cengel, 2007).

Para calcular cómo se distribuye la temperatura, se requiere establecer una ecuación de conservación específica para cada uno de los puntos nodales de temperatura desconocida. Luego, el sistema de ecuaciones resultante se resuelve de forma simultánea para obtener la temperatura en cada uno de estos nodos. En el caso de un sistema bidimensional, se emplean ecuaciones de diferencias apropiadas para los nodos ubicados en el interior del sistema. (Yunus & Cengel, 2007).

Los gradientes de temperaturas se expresan:

ECUACION DE X

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}_{m,n} = \frac{T_{m+1,n} + T_{m-1,n} - 2T_{m,n}}{(\Delta x)^2} \quad \dots (2.8)$$

ECUACION DE Y

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}_{m,n} = \frac{T_{m,n+1} + T_{m,n-1} - 2T_{m,n}}{(\Delta y)^2} \quad \dots (2.9)$$

c) Conducción en estado transitorio.

Sabemos ahora que los problemas de transferencia dependen del tiempo. Este tipo de problemas normalmente surgen cuando cambian las condiciones de frontera de un sistema. Los cambios continuarán ocurriendo hasta que se alcance una distribución de temperaturas de estado estable (Yunus & Cengel, 2007).

El análisis de la transferencia de calor que utiliza esta idealización se conoce como análisis de sistemas concentrados, el cual proporciona una gran simplificación en ciertas clases de problemas de transferencia de calor sin mucho sacrificio de la exactitud. (Yunus & Cengel, 2007)

Un balance de energía del sólido para el intervalo de tiempo dt se puede expresar como. (Yunus & Cengel, 2007):

Figura 20

Análisis de un sistema concentrado

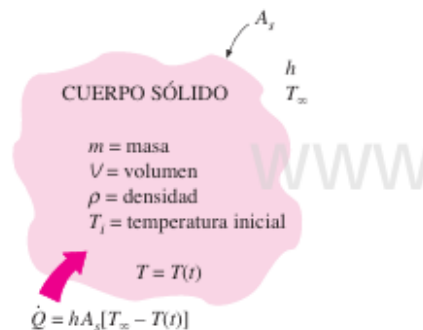


FIGURA 4-2

Configuración geométrica y parámetros que intervienen en el análisis de los sistemas concentrados.

$$\left(\begin{array}{c} \text{Transferencia de calor hacia el cuerpo} \\ \text{durante } dt \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{El incremento en la} \\ \text{energía del cuerpo} \\ \text{durante } dt \end{array} \right)$$

Nota. Tomado de Transferencia de Calor y Masa. Fuente: (Yunus & Cengel, 2007)

Utilizando la ley de enfriamiento de newton, podemos tener la siguiente igualdad:

$$hA_s(T_\infty - T)dt = mCp dT \quad \dots (2.10)$$

Dado que $m = \rho \cdot V$ y $dT = d(T - T_\infty)$, puesto que $T_\infty =$ constante, la ecuación se puede reacomodar como.

$$\frac{d(T - T_\infty)}{T - T_\infty} = -\frac{hAs}{\rho VCp} dt$$

Al integrar y reacomodar para cualquier instante t.

$$\frac{T(t) - T_\infty}{T_i - T_\infty} = e^{-\left(\frac{hAs}{\rho VCp}\right)t} \quad \dots (2.11)$$

Y algunos criterios para el análisis de sistemas concentrados:

El primer paso en el establecimiento de un criterio para la aplicabilidad del análisis de sistemas concentrados es definir la longitud característica como.

$$Lc = \frac{V}{As} \quad \dots (2.12)$$

Y un numero de Biot, Bi como.

$$Bi = \frac{h}{\frac{k}{L_c}} = \frac{\text{Convección en la superficie del cuerpo}}{\text{Conducción dentro del cuerpo}} \quad \dots (2.13)$$

El número de Biot es la razón de la resistencia interna de un cuerpo a la conducción de calor con respecto a su resistencia externa a la convección de calor. En el análisis de sistemas concentrados se supone una distribución uniforme de temperatura en todo el cuerpo.

En general se acepta que el análisis de sistemas concentrados es aplicable si.

$$Bi \leq 0.1 \quad \dots (2.14)$$

Cuando se satisface este criterio, las temperaturas dentro del cuerpo con relación a la de los alrededores permanecen dentro de un margen de 5% entre sí. Note que el número de Biot es la razón entre la convección en la superficie con respecto a la conducción dentro del cuerpo, y debe ser tan pequeño como sea posible para que el análisis de sistemas concentrados sea aplicable.

Figura 21

Número de Biot en un cuerpo sólido



FIGURA 4-6

El número de Biot se puede concebir como la razón entre la convección en la superficie del cuerpo con respecto a la conducción dentro de éste.

Nota. Tomado de Transferencia de Calor y Masa. Fuente: (Yunus & Cengel, 2007)

2.2.9.2. Convección

Es la transferencia de calor por movimiento de una masa de fluido de una región del espacio a otra. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección.

Se puede observar que la rapidez de transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa por la ley de Newton del enfriamiento, la cual es la siguiente (Yunus & Cengel, 2007):

$$Q_{conv.} = h * A_s * (T_s - T_{\infty}) \quad \dots (2.15)$$

$Q_{conv.}$ = Rapidez de transferencia de calor por convección.

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección.

A_s = Área superficial.

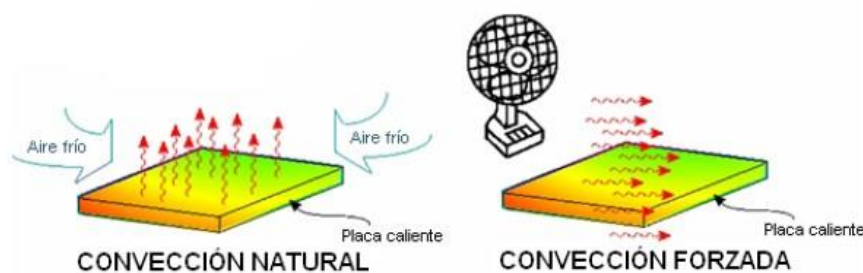
T_s = Temperatura de la superficie.

T_{∞} = Temperatura del fluido suficientemente alejado de esta superficie.

La rapidez de conducción de calor por convección se expresa en watts (W).

Figura 22

Transferencia de calor por convección



Nota. Tomado de Transporte de Energía UNAM. Fuente: Blog spot (<https://equipo3transportedeenergia.blogspot.com/2017/05/introduccion-la-conveccion.html>)

La convección es el proceso de transferencia de calor que se produce debido al

movimiento de la masa o circulación de una sustancia. Puede manifestarse de forma natural, impulsada únicamente por las variaciones en la densidad del material, o ser inducida, cuando se fuerza al material a moverse de un lugar a otro, como en el caso del aire mediante un ventilador o del agua a través de una bomba. Este fenómeno se da exclusivamente en líquidos y gases, donde los átomos y moléculas tienen la capacidad de desplazarse libremente en el medio. (Yunus & Cengel, 2007).

En la naturaleza, la mayor parte del calor ganado por la atmósfera por conducción y radiación cerca de la superficie, es transportado a otras capas o niveles de la atmósfera por convección.

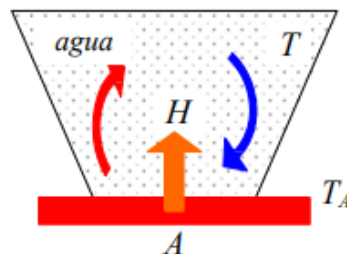
Un modelo de transferencia de calor H por convección, llamado ley de enfriamiento de Newton, es el siguiente (Yunus & Cengel, 2007):

$$H = hA(T_A - T) \quad \dots (2.16)$$

Donde h se llama coeficiente de convección, en W/m^2K , A es la superficie que entrega calor con una temperatura T_A al fluido adyacente, que se encuentra a una temperatura T , como se muestra en el esquema de la figura 23. Además, en la tabla 9 se lista algunos valores aproximados de coeficiente de convección h .

Figura 23

Proceso de convección



Nota. Tomado de Transferencia de calor. Fuente: Blog spot (<https://transferencia-decalor.blogspot.com/2016/07/conveccion-ii.html>)

El flujo de calor por convección es positivo ($H>0$) si el calor se transfiere desde la superficie de área A al fluido ($T_A > T$) y negativo si el calor se transfiere desde el fluido hacia la superficie ($T_A < T$) (Yunus & Cengel, 2007)

2.2.9.3. Métodos Numéricos

Los ingenieros de la actualidad tienen acceso a una cantidad tremenda de poder de computación bajo las puntas de sus dedos y necesitan sobre todo comprender la naturaleza física del problema e interpretar los resultados. Pero también requieren entender cómo realizan los cálculos las computadoras con el fin de desarrollar cierta conciencia de los procesos que intervienen y de las limitaciones.

A continuación, se desarrolla la formulación en diferencias finitas de los problemas de conducción de calor al reemplazar las derivadas de las ecuaciones diferenciales por diferencias. Se pueden obtener resultados razonablemente exactos al reemplazar las cantidades diferenciales por diferencias suficientemente pequeñas.

La primera derivada de $f(x)$ en un punto es equivalente a la pendiente de una recta tangente a la curva en ese punto y se define como:

Figura 24

Esquema de nodos en diferencias finitas.

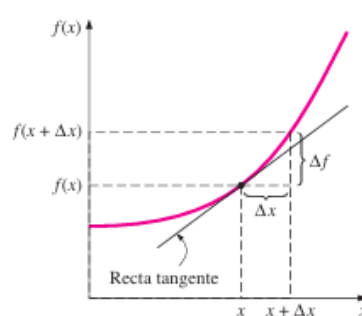


FIGURA 5-6
La derivada de una función en un punto representa la pendiente de la función en ese punto.

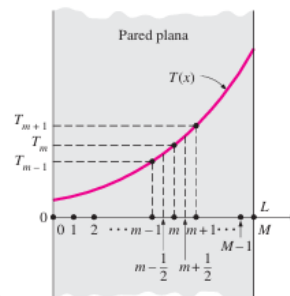


FIGURA 5-7
Esquema de los nodos y las temperaturas nodales usados en el desarrollo de la formulación en diferencias finitas de la transferencia de calor en una pared plana.

Nota. Tomado de Transferencia de Calor y Masa. Fuente: (Yunus & Cengel, 2007)

$$\frac{df(x)}{dx} \cong \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x} \quad \dots (2.17)$$

También se puede obtener la ecuación anterior al escribir la expansión en la serie de Taylor de la función f en torno al punto x :

$$f(x + \Delta x) = f(x) + \Delta x \frac{df(x)}{dx} + \frac{1}{2} \Delta x^2 \frac{d^2 f(x)}{dx^2} + \dots \quad \dots (2.18)$$

Por lo tanto, entre menor sea Δx , menor es el error y, de este modo, más exacta la aproximación.

La ecuación de conducción de calor comprende las segundas derivadas de la temperatura con respecto a las variables espaciales, tales como d^2T/dx^2 y la formulación en diferencias finitas se basa en el reemplazo de las segundas derivadas por diferencias apropiadas.

Dado que la segunda derivada es simplemente la derivada de la primera derivada, la segunda derivada de la temperatura en el nodo m se puede expresar como:

$$\frac{d^2 f(x)}{dx^2}_m \cong \frac{T_{m-1} - 2T_m + T_{m+1}}{\Delta x^2} \quad \dots (2.19)$$

Lo cual es la representación en diferencias finitas de la segunda derivada en un nodo interno general m , que rige la transferencia de calor unidimensional en estado estacionario.

$$\frac{d^2 f(x)}{dx^2} + \frac{\dot{e}}{k} = 0 \quad \dots (2.20)$$

- **Conducción de Calor en Régimen Transitorio en una Pared Plana**

Considere la conducción de calor unidimensional en régimen transitorio en una pared plana. Puesto que el elemento de volumen de un nodo interior general m comprende conducción de calor desde dos de sus lados. La formulación en diferencias finitas en régimen transitorio para un nodo interior se puede expresar sobre la base de la ecuación.

Figura 25

Puntos nodales en una pared plana

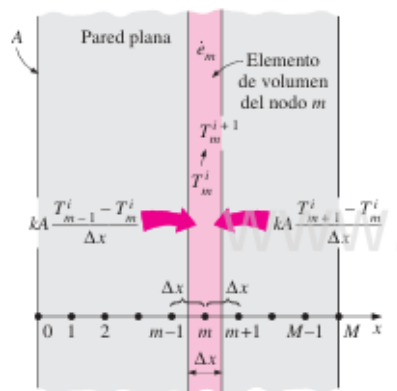


FIGURA 5-40

Puntos nodales y elementos de volumen para la formulación en diferencias en régimen transitorio de la conducción unidimensional de calor en una pared plana.

Nota. Tomado de Transferencia de Calor y Masa. Fuente: (Yunus & Cengel, 2007)

Si se supone que la conducción de calor se lleva a cabo hacia los elementos sobre todas las superficies, un balance de energía en el elemento se puede expresar como:

Figura 26

Balance de energía.

$$\left(\begin{array}{c} \text{Razón de} \\ \text{la conducción} \\ \text{de calor en la} \\ \text{superficie izquierda} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Razón de} \\ \text{la conducción} \\ \text{de calor en la} \\ \text{superficie derecha} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Razón de} \\ \text{la generación} \\ \text{de calor dentro} \\ \text{del elemento} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Razón} \\ \text{de cambio del} \\ \text{contenido de energía} \\ \text{del elemento} \end{array} \right)$$

Nota. Tomado de Transferencia de Calor y Masa. Fuente: (Yunus & Cengel, 2007)

Y el balance de energía sobre un elemento de volumen durante un intervalo de tiempo t se puede expresar como:

Figura 27

Balance de energía en el tiempo

$$\left(\begin{array}{c} \text{Calor transferido hacia} \\ \text{el elemento de volumen} \\ \text{desde todas sus superficies} \\ \text{durante } \Delta t \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Calor generado} \\ \text{dentro del elemento} \\ \text{de volumen} \\ \text{durante } \Delta t \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Cambio en el contenido} \\ \text{de energía interna} \\ \text{del elemento de volumen} \\ \text{durante } \Delta t \end{array} \right)$$

Nota. Tomado de Transferencia de Calor y Masa. Fuente: (Yunus & Cengel, 2007)

$$kA \frac{T_{m-1} - T_m}{\Delta x} + kA \frac{T_{m+1} - T_m}{\Delta x} + e_m A \Delta x = \rho A \Delta x C_p \frac{T_m^{i+1} - T_m^i}{\Delta t} \quad \dots (2.21)$$

Al cancelar el área superficial A y el calor generado dentro del elemento, y multiplicar $\Delta x/k$, se simplifica a.

$$T_{m-1} - 2T_m + T_{m+1} = \frac{\Delta x^2}{\alpha \Delta t} (T_m^{i+1} - T_m^i) \quad \dots (2.22)$$

Donde $\alpha = k / \rho * C_p$ es la difusividad térmica del material de la pared. Ahora se define un número discreto de Fourier adimensional.

$$\tau = \frac{\alpha \Delta t}{\Delta x^2} \quad \dots (2.23)$$

Entonces tenemos la ecuación reducida.

$$T_{m-1} - 2T_m + T_{m+1} = \frac{(T_m^{i+1} - T_m^i)}{\tau} \quad \dots (2.24)$$

Dándole una mejor forma para resolver, tenemos.

$$T_m^{i+1} = \tau (T_{m-1}^i - T_{m+1}^i) + (1 - 2\tau) T_m^i \quad \dots (2.25)$$

Se analizo en la parte interior del material, pero ahora analizamos las condiciones de frontera que tiene el material en un sistema transitorio de pared plana.

Figura 28

Convección con frontera en la pared izquierda

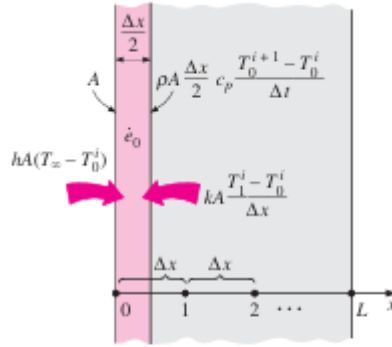


FIGURA 5-41

Esquema para la formulación explícita en diferencias finitas de la condición de convección en la frontera izquierda de una pared plana.

Nota. Tomado de Transferencia de Calor y Masa. Fuente: (Yunus & Cengel, 2007)

La formulación de la condición de frontera de convección en el lado izquierdo se puede expresar como.

$$hA(T_{\infty} - T_0^i) + kA \frac{T_1^i - T_0^i}{\Delta x} + e_0 A \frac{\Delta x}{2} = \rho A \frac{\Delta x}{2} c_p \frac{T_0^{i+1} - T_0^i}{\Delta t} \quad \dots (2.26)$$

Simplificando A y la generación de calor interna (energía interna), podemos tener la siguiente ecuación.

$$T_0^{i+1} = \left(1 - 2\tau - 2\tau \frac{h\Delta x}{k}\right) T_0^i + 2\tau T_1^i + 2\tau \frac{h\Delta x}{k} T_{\infty} \quad \dots (2.27)$$

Criterio de estabilidad, limitación sobre Δt :

Con el fin de evitar esas oscilaciones divergentes en las temperaturas nodales, el valor de t debe mantenerse por debajo de un cierto límite superior establecido por el criterio de estabilidad.

En el caso de la conducción de calor unidimensional en régimen transitorio en una

pared plana con temperaturas superficiales específicas las ecuaciones explícitas en diferencias finitas para todos los nodos.

$$\tau = \frac{\alpha \Delta t}{\Delta x^2} \leq \frac{1}{2} \quad \dots (2.28)$$

Los nodos frontera en los que interviene convección y/o radiación son más restrictivos que los interiores y, por consiguiente, requieren intervalos de tiempo más pequeños. Por lo tanto, debe usarse el nodo de frontera más restrictivo en la determinación del intervalo de tiempo máximo admisible t cuando se resuelve un problema en régimen transitorio con el método explícito. El criterio de estabilidad para todos los nodos se convierte en.

$$1 - 2\tau - 2\tau \frac{h\Delta x}{k} \geq 0$$

$$\tau \leq \frac{1}{2(1 + \frac{h\Delta x}{k})}$$

El criterio de estabilidad reemplazando, se puede expresar como.

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x^2}{2\alpha \left(1 + \frac{h\Delta x}{k}\right)} \quad \dots (2.29)$$

2.2.10. Dilatación Térmica

El aumento de temperatura en una sustancia provoca que las moléculas se agiten más rápido y tiendan a separarse, lo cual origina una expansión de la sustancia; esto puede ocurrir en sustancias sólidas, líquidas o gaseosas. Por otro lado, al disminuir la temperatura estas sustancias se contraen.

Para este caso especial trataremos de la dilatación térmica en sólidos, la cual se clasifica en (Resnick, et al.,2013):

2.2.10.1. Dilatación lineal

Es la variación de longitud que tiene lugar en un cuerpo cuando una dimensión

predomina sobre el resto, como por ejemplo un hilo o un alambre (Resnick, et al.,2013):

$$I = I_0 * (1 + \alpha * \Delta T) \quad \dots (2.30)$$

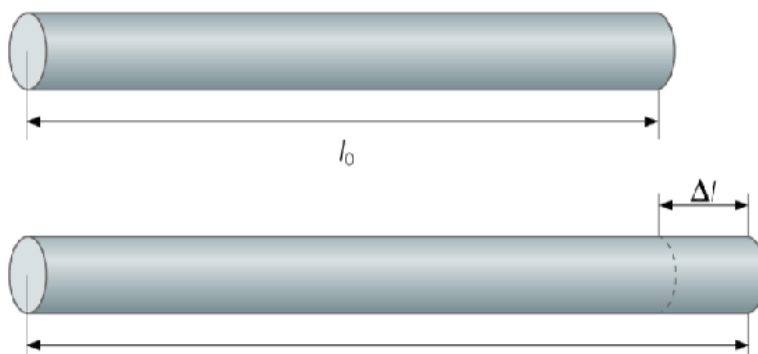
I_0 = Longitud inicial.

α = Coeficiente de dilatación lineal. (parámetro característico de cada material)

ΔT = Variación de temperatura

Figura 29

Dilatación térmica lineal



Nota. Tomada de Dilatación. Fuente: WordPress

(<https://mauriciomedinasierra.wordpress.com/segundo-corte/conceptos/dilatacion-termica>)

2.2.10.2. Dilatación superficial

Si una dimensión es mucho menor que las otras dos, como sucede en láminas y planchas, se mide su variación de su área, la cual se expresa por la siguiente formula (Resnick, et al.,2013):

$$S = S_0 * (1 + \gamma * \Delta T) \quad \dots (2.31)$$

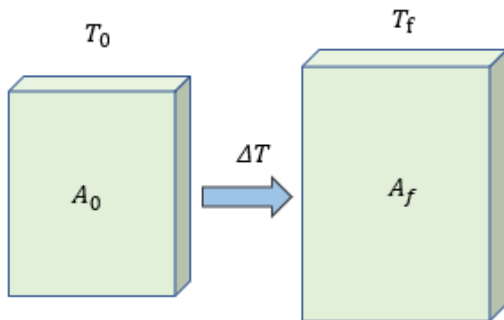
S_0 = Superficie inicial

γ = Coeficiente de dilatación superficial ($\gamma = 2 * \alpha$)

ΔT = Variación de temperatura

Figura 30

Dilatación térmica superficial



Nota. Tomada de Dilatación. Fuente: Fisimat (<https://www.fisimat.com.mx/dilatacion-volumetrica/>)

2.2.10.3. Dilatación volumétrica

Pasa cuando todas las dimensiones del cuerpo son similares, se estudia en aumento de volumen del cuerpo sólido, la cual se expresa por la siguiente formula (Resnick, et al.,2013):

$$V = V_0 * (1 + \beta * \Delta T) \quad \dots (2.32)$$

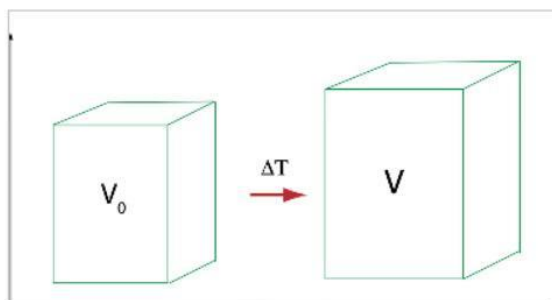
V_0 = Volumen inicial

β = Coeficiente de dilatación superficial ($\beta = 3 * \alpha$)

ΔT = Variación de temperatura

Figura 31

Dilatación térmica Volumétrica



Nota. Tomada de Dilatación. Fuente: Fisimat (<https://www.fisimat.com.mx/dilatacion-volumetrica/>)

2.2.11. ANSYS

ANSYS Inc. fundada en 1970 (Swanson Analysis Systems, Inc.), desarrolla y presta soporte a la ingeniería introduciendo nuevos métodos para conseguir productos y procesos de fabricación más innovadores logrando una reducción tanto de los costes como del tiempo invertido hasta la comercialización del producto con programas de elementos finitos destinados a la simulación, que predicen cómo funcionará y reaccionará determinado producto bajo un entorno real. (García, 2009)

ANSYS es un programa de elementos finitos que originalmente ofrece soluciones para resolver análisis estáticos lineales. Sucesivamente se han ido introduciendo módulos con los que este programa es capaz de resolver además problemas dinámicos no lineales, (Arrieta, 2012). Los principales módulos de ANSYS son: Multiphysics, Mechanical, Structural, Professional, Design Space, Emag (simulaciones Electromagnéticas), Paramesh (mallas adaptativas), LSDYNA y Educational.

El software fluent de ANSYS es la herramienta de dinámica de fluidos computacional (CFD) más poderosa disponible, lo que permite ir más lejos y más rápido a medida que se optimiza el rendimiento de un producto. Fluent incorpora capacidades de visualización física bien aprobadas para transmitir resultados rápidos y exactos en el ámbito más amplio de las aplicaciones CFD y multifásicas.

Es un programa de elementos finitos que da solución a procesos implícitos, es decir, resuelve sistemas estáticos/cuasi estáticos (fuerzas aplicadas en grandes lapsos de tiempo) en los que el sistema se comporta de forma lineal. Se resuelve en una sola iteración, definida a partir de intervalos grandes de tiempo, ya que las soluciones convergen fácilmente mostrando una gran estabilidad. De manera que utiliza pocos recursos computacionales.

CAPÍTULO III:

CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL AISLADOR TÉRMICO

3.1. Lista de Exigencias

3.1.1. *Parámetros deseados*

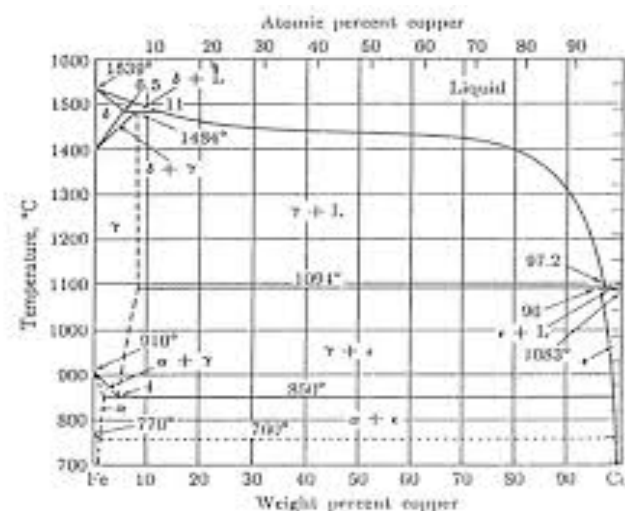
Los parámetros deseados para el análisis de la barra de cobre son:

3.1.1.1. **Temperatura deseada (Cu – Ni).**

La dilución del cobre con hierro en un 5% puede dar lugar a la formación de grietas en caliente. Además, el cobre tiende a difundirse entre los bordes de grano de la zona afectada térmicamente del acero, lo que resulta en fisuras por soldadura fuerte. Al solidificarse, en el sistema cobre-hierro se generan dos fases que, aunque son soluciones sólidas y por lo tanto dúctiles (a diferencia de los compuestos Inter metálicos que son quebradizos), pueden presentar problemas de corrosión. Para evitar la dilución del metal de aporte con hierro, se emplea la técnica de untado (buttering) con níquel sobre el acero.

Figura 32

Diagrama de fases Fe-Cu



Nota. Tomado de Soldeo Entre Materiales Disimilares. Fuente: (Vega , 2004).

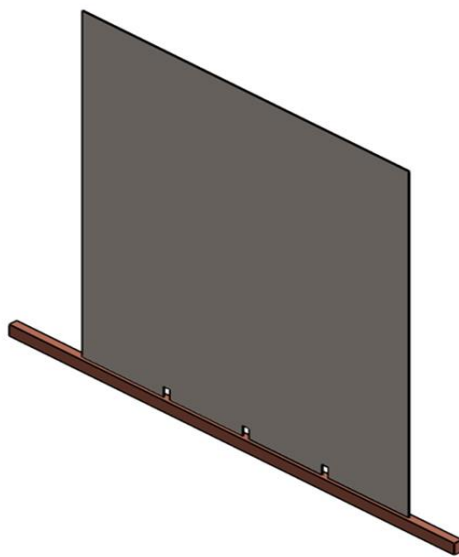
Se puede observar un amplio intervalo de solidificación en diversas composiciones, lo que aumenta la propensión a la formación de grietas en caliente. Aunque no se generan compuestos intermetálicos frágiles, se presentan dos fases que son soluciones sólidas y dúctiles, lo que puede ocasionar problemas de corrosión. Los cobres comerciales pueden unirse a aceros ferríticos o inoxidable austeníticos utilizando el metal de aportación ERNi-3. Al aplicar un untado (buttering) previo, se garantiza una mejor calidad en estas uniones. En este proceso, el cobre se precalienta entre 200 y 500 °C, dependiendo del espesor de la chapa y del método de soldadura, ya que el precalentamiento es esencial para contrarrestar la alta conductividad térmica del cobre; de lo contrario, no se alcanzaría la temperatura necesaria para la fusión.

Asimismo, el metal de aportación ERCuAL-A permite la soldadura de cobre a acero ferrítico o inoxidable austenítico, con o sin untado, gracias a su capacidad para tolerar la dilución con hierro. A excepción del metal de soldadura ERNi-3, las uniones entre cobre y acero suelen ser soldaduras de fusión únicamente en el lado del cobre, mientras que en el lado del acero se consideran soldaduras fuertes (brazing), dado que la temperatura de fusión del acero es superior a la del consumible. Por lo tanto, con otros metales de aportación, como el ERCuAI-A2, se buscará lograr una penetración adecuada en el acero, ya que una falta de penetración puede comprometer la resistencia de la junta, lo que podría provocar el fallo de la interfase entre la aleación de cobre y acero bajo altas tensiones.

3.1.1.2. Geometría de la Barra

Figura 33

Geometría de placa madre o cátodo permanente

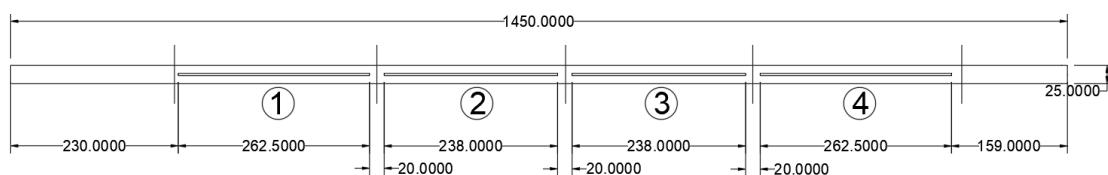


Nota. Elaboración propia.

Diseño de la placa madre a fabricar o cátodo, la barra de cobre que se utiliza es de rectangular con 1450 mm de longitud, un espesor de 25 mm y un ancho de 38.5 mm. En la cual se presenta un plano referencial de donde se realizará el proceso de mantequillado de la barra de cobre

Figura 34

Barra de cobre con espacios



Nota. Elaboración propia.

Donde los espacios demarcados dentro de la barra de cobre son los espacios a mantequillar con metal de aporte níquel.

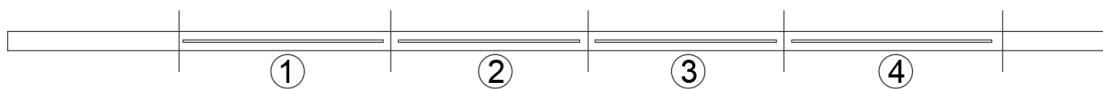
3.1.1.3. Velocidad de Avance de soldadura

En el proceso de TIG o GTAW, no se encuentra mucha información sobre la velocidad de avance en el soldeo de cobre. Según su base de datos de la empresa y la experiencia de los soldadores especialistas, la velocidad de avance es de 1.5 mm/s a 2 mm/s.

Pero también se tomó el tiempo de lo que demora en soldar el especialista en la empresa PRODERMET. Los cuales se analizan con la distancia recorrida y se saca las velocidades promedias de avance. Las cuales son las siguientes:

Figura 35

Posiciones a mantequillar/soldar

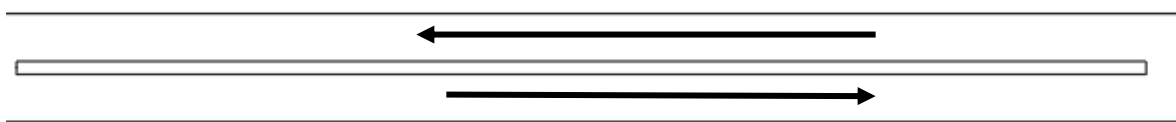


Nota. Elaboración propia.

Se tiene 4 posiciones las cuales se deben mantequillar. El mantequillado se debe hacer siguiendo las líneas o posiciones marcadas. Se midió el tiempo estimado que se soldó dichas marcas de posiciones, las cuales tenemos los siguientes datos.

Figura 36

Líneas (dirección) de mantequillado



Nota. Elaboración propia.

- **Tramo 1**

Tiempo = 5 minutos.

Longitud total soldado = 2 x Longitud tramo = 2 x 262.5 = 525 mm.

Veloc. de avance = Long. total, soldado/ tiempo = 525 mm / 5x60 seg.

Veloc. de avance = 1.75 mm/seg.

- **Tramo 2.**

Tiempo = 4 minutos 23 segundos = 4.383 minutos.

Longitud total soldado = 2 x Longitud tramo = 2 x 238 = 476 mm.

Veloc. de avance = Long. total, soldado/ tiempo = 476 mm / 4.383 x60 seg.

Veloc. de avance = 1.81 mm/seg.

- **Tramo 3.**

Tiempo = 4 minutos 7 segundos = 4.1167 minutos

Longitud total soldado = 2 x Longitud tramo = 2 x 238 = 476 mm.

Veloc. de avance = Long. total soldado/ tiempo = 476 mm / 4.117x60 seg.

Veloc. de avance = 1.927 mm/seg.

- **Tramo 4.**

Tiempo = 4 minutos 49 segundos. = 4.8167 minutos.

Longitud total soldado = 2 x Longitud tramo = 2 x 262.5 = 525 mm.

Veloc. de avance = Long. total soldado/ tiempo = 525 mm / 4.8167x60 seg.

Veloc. de avance = 1.817 mm/seg.

Donde está dentro del rango que se delimito desde un inicio, confirmando la velocidad de avance del proceso de mantequillado.

Sacando el promedio de las velocidades de avance tenemos que:

Velocidad de avance = 1.826 mm/seg.

3.1.1.4. Disipación del Calor

La barra de cobre que se usa es con la norma ASTM/ASME B/SB-187 o UNS C10200. La cual presentaremos sus especificaciones técnicas.

El cobre C10200 es considerado un cobre de muy alta conductividad térmica y

eléctrica ya que iguala las propiedades del cobre electrolítico (C-1100). Tiene alta resistencia al impacto, alta ductilidad, alta resistencia a deformación por fatiga, fácil de soldar y baja volatilidad al vacío.

A) Composición química.

Tabla 6

Composición química

Composición Química:

	% Cobre	% Oxígeno
Mínimo / Máximo	99.95 Mín.	0.0010 Máx.

Nota. Tomada de Cobre. Fuente: (La Paloma Compañía de Metales S.A. de C.V., 2024)

Se podría decir que es un cobre de alta pureza.

B) Tabla de propiedades.

Se saca la tabla de propiedades del libro Yunus Cengel:

Tabla 7

Propiedades de metales solidos

TABLA A-3											
Propiedades de metales sólidos											
Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), k(W/m · K)/c _p (J/kg · K)					
		ρ kg/m ³	c_p J/kg · K	k W/m · K	$\alpha \times 10^6$ m ² /s	100	200	400	600	800	1 000
Cobre:											
Puro	1 358	8 933	385	401	117	482	413	393	379	366	352
						252	356	397	417	433	451
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	1 293	8 800	420	52	14		42	52	59		
							785	160	545		
Bronce al fósforo para engranes (89% Cu, 11% Sn)	1 104	8 780	355	54	17		41	65	74		
							—	—	—		
Latón para cartuchos (70% Cu, 30% Zn)	1 188	8 530	380	110	33.9	75	95	137	149		
							360	395	425		
Constantán (55% Cu, 45% Ni)	1 493	8 920	384	23	6.71	17	19				
						237	362				

Nota. (YUNUS A. ÇENGEL / AFSHIN J.GHAJAR, 2011)

3.1.2. Sistema de aislamiento térmico (Material Aislante).

Veremos algunas características de material a utilizar, que sería de los ladrillos refractarios. Se analizó de manera óptima y tomando en referencia algunas tesis, donde hacen el proceso de construcción de hornos de forja, donde utilizan los ladrillos refractarios como elemento de construcción para usarlo como aislante térmico.

- Alta resistencia al calor.

Son materiales que soportan altas temperaturas sin degradarse o perder sus propiedades mecánicas. Están hechos de óxido de aluminio, sílice y otros minerales, lo que otorga resistencia térmica. Estos materiales pueden soportar temperaturas superiores a 1200 °C.

- Conductividad térmica baja.

El ladrillo refractario tiene baja conductividad térmica, lo que significa que es un excelente aislante térmico. Su capacidad de mantener la temperatura en rangos controlados en ambientes es muy buena.

Tabla 8

Propiedades de ladrillo refractario

TABLA A-8			
Propiedades de diversos materiales			
(A menos que se indique lo contrario, los valores se dan a 300 K)			
Material	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k W/m · K	Calor espe- cífico, c_p J/kg · K
Asfalto	2 115	0.062	920
Baquelita	1 300	1.4	1 465
Ladrillo refractario			
Ladrillo de cromita			
473 K	3 010	2.3	835
823 K	—	2.5	—
1173 K	—	2.0	—
Arcilla refractaria			
cocida			
1600 K			
773 K	2 050	1.0	960
1373 K	—	1.1	—
Arcilla refractaria			
cocida			
1725 K			
773 K	2 325	1.3	960
1073 K	—	1.4	—
1373 K	—	1.4	—
Ladrillo de arcilla			
refractario			
478 K	2 645	1.0	960
922 K	—	1.3	—
1478 K	—	1.8	—
Hielo			
273 K	920	1.88	2 040
253 K	922	2.03	1 945
173 K	928	3.49	1 460
Cuero para suela	998	0.159	—
Linóleo			
	535	0.081	—
	1 180	0.186	—
Mica	2 900	0.523	—
Papel	930	0.180	1 340
Plásticos			
Plexiglás	1 190	0.19	1 465
Teflón			
300 K	2 200	0.35	1 050
400 K	—	0.45	—
Lexan	1 200	0.19	1 260
Nylon	1 145	0.29	—
Polipropileno	910	0.12	1 925
Poliéster	1 395	0.15	1 170
PVC, vinilo	1 470	0.1	840
Porcelana	2 300	1.5	—
Caucho natural	1 150	0.28	—
Caucho vulcanizado			
Blando	1 100	0.13	2 010
Duro	1 190	0.16	—

Nota. Tomado de Transferencia de Calor y Masa. Fuente: (Yunus & Cengel, 2007)

- Durabilidad y estabilidad a largo plazo.

El ladrillo refractario mantiene su estructura y rendimiento durante periodos prolongados. Los ladrillos no solo son resistentes al calor, sino también a cambios térmicos rápidos. Lo que se presenta en nuestro caso que queremos mantener la barra de cobre de 450 °C a 300 °C.

- Resistencia a la corrosión y a condiciones extremas.

El ladrillo refractario es resistente a la corrosión causada por gases o sustancias químicas presentes en el ambiente térmico. Esto es relevante si el proceso involucra reacciones químicas o condiciones de alta humedad.

- Compatibilidad de materiales metálicos.

En este caso nosotros estamos utilizando una barra de cobre, que es un metal muy sensible a la exposición de las temperaturas. El ladrillo refractario no solo protege eficientemente la barra, sino que también actúa como una barrera que minimiza el riesgo de deformación, oxidación o daños en la superficie metálica debido a las altas temperaturas. Tiene una buena resistencia sin sufrir deterioro cuando estén en contacto la barra y los ladrillos refractarios.

- Facilidad de instalación y mantenimiento.

El ladrillo refractario es fácil de manejar por las medidas estándares que nos dan. Los ladrillos refractarios, para el proceso de construcción, se colocan en forma de bloques, uno encima de otro alrededor de la barra de cobre, lo que facilita tanto la instalación como cualquier posible mantenimiento.

- Costo y disponibilidad del ladrillo refractario.

Los ladrillos refractarios pueden tener un precio relativamente accesible. Tienen alta durabilidad y resistencia a condiciones extremas, es una opción rentable a

largo plazo. El ladrillo refractario está disponible y de manera rápida en las tiendas de materiales, en todas sus dimensiones estándar que se requiere.

3.1.3. Dilatación térmica de barra de cobre

Calcularemos las nuevas dimensiones de la barra de cobre cuando la barra este a una temperatura de 450 °C. Para ello utilizaremos las fórmulas de dilatación térmica linealmente.

Dimensiones iniciales de la barra a una temperatura de 20 °C (Temperatura ambiente).

$$L_o = 1450 \text{ mm}$$

$$H_o = 38.5 \text{ mm}$$

$$A_o = 25 \text{ mm}$$

Figura 37

Dimensiones iniciales de la barra a una temperatura de 20 °C



Nota. Elaboración propia

Datos para resolver el problema:

Temperatura inicial Cobre = 20 °C

Temperatura final Cobre = 450 °C

Sacamos de tablas el coeficiente de dilatación lineal del cobre:

Figura 38

Dilatación lineal en sólidos

$L = L_0(1 + \alpha \Delta T)$ Para cambio en longitud.

$A_f = A_0(1 + \gamma \Delta T)$ Para cambio en su superficie.

$V = V_0(1 + \beta \Delta T)$ Para cambio en su volumen.

Tanto α ; β y γ son coeficientes de dilatación lineal, superficial y de volumen que dependen de la naturaleza de la sustancia.

La tabla 1 indica los valores del coeficiente lineal de algunas sustancias.

TABLA 1. COEFICIENTES DE DILATACIÓN LINEAL	
Sustancia	Coficiente de dilatación lineal ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Acero	1.1×10^{-5}
Aluminio	2.4×10^{-5}
Latón	1.8×10^{-5}
Concreto	$0.7 - 1.2 \times 10^{-5}$
Cobre	1.7×10^{-5}
Vidrio Pyrex	0.3×10^{-5}
Vidrio común	0.9×10^{-5}
Hierro	1.2×10^{-5}
Plata	2×10^{-5}
Zinc	2.6×10^{-5}
Diamante	9×10^{-5}
Tungsteno	4.0×10^{-5}

Nota. Tomada de Dilatación Térmica. Fuente: (Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo, 2014)

$$\alpha = 17 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \text{ (Coeficiente de dilatacion termica cobre)}$$

Para poder desarrollar usaremos la siguiente fórmula:

$$L = L_0 * (1 + \alpha * \Delta T)$$

Reemplazamos para las 3 dimensiones que tiene nuestra barra de cobre:

1. Longitud (L).

$$L = L_0 * (1 + \alpha * \Delta T)$$

$$L = 1450 * (1 + 17 \times 10^{-6} * (450 - 20))$$

$$L = 1450 * (1 + 0.00731)$$

$$L = 1460.5995 \text{ mm}$$

Nosotros tomamos como medida 1460 milímetros.

2. Altura (H).

$$H = H_0 * (1 + \alpha * \Delta T)$$

$$H = 38.5 * (1 + 17 \times 10^{-6} * (450 - 20))$$

$$H = 38.5 * (1 + 0.00731)$$

$$H = 38.7814 \text{ mm}$$

Nosotros tomamos como medida 38.8 milímetros.

3. Ancho (A).

$$A = A_o * (1 + \alpha * \Delta T)$$

$$A = 25 * (1 + 17 \times 10^{-6} * (450 - 20))$$

$$A = 25 * (1 + 0.00731)$$

$$A = 25.18275 \text{ mm}$$

Nosotros tomamos como medida 25.2 milímetros.

Dimensiones de la barra de cobre con una temperatura de 450 °C:

$$L = 1460 \text{ mm}$$

$$H = 38.8 \text{ mm}$$

$$A = 25.2 \text{ mm}$$

Figura 39

Dimensiones de la barra de cobre con una temperatura de 450 °C



Nota. Elaboración propia.

3.1.4. Análisis de sistema concentrado o transitorio

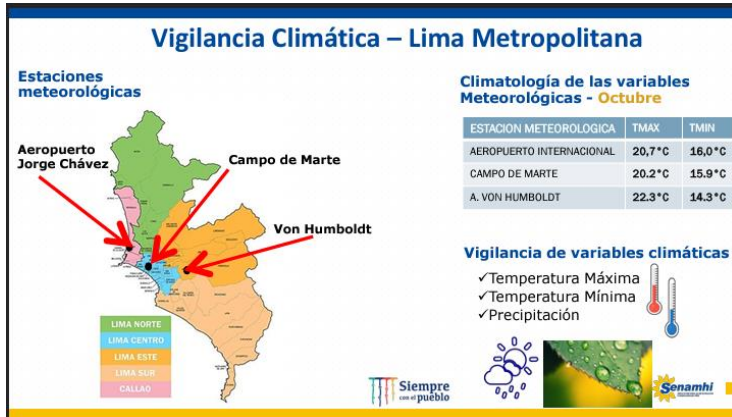
Este análisis se hará propiamente a la barra de cobre en el medio ambiente en el cual tenemos que es de LIMA – CALLAO.

Condiciones del medio ambiente.

- Temperatura.

Tabla 9

Vigilancia climática -lima metropolitana Temperatura clima



Nota. Tomada de Vigilancia Climática. Fuente: (Senamhi, 2022)

Y según los datos tomados con el pirómetro de la empresa. Nos da temperaturas de 20.1 C, el medio ambiente.

Tomamos como Temperatura 20 °C.

- Coeficiente de transferencia de calor por convección.

Para poder hallar el coeficiente, usaremos la ecuación para sistemas concentrados.

$$\theta = \frac{T(t) - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = e^{-bt} = e^{-\frac{hA_s t}{\rho V c_p}} = e^{-BiFo}$$

Fuente. (Yunus & Cengel, 2007)

Donde nosotros tomamos los datos de temperatura final, temperatura inicial de la barra y también el tiempo que se demoró pasar de la temperatura inicial a la final la barra de cobre en el medio ambiente.

Temperatura inicial= 410 °C

Temperatura final = 310 °C.

Tiempo total = 5 minutos = 300 segundos.

1.-

$$\frac{T(t) - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = e^{-bt}$$

$$\frac{310 - 20}{410 - 20} = e^{-b(300)}$$

$$\ln \frac{290}{390} = -300x b$$

$$b = 9,87553 \times 10^{-4}$$

2.-

$$b = \frac{h}{p \cdot Cp \cdot Lc}$$

$$h = b \cdot p \cdot Cp \cdot Lc$$

Para hallar k y Cp en la temperatura promedio en que la barra se enfriará.

Donde: $(410 + 310) / 2 = 360 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (633.15 K).

Tabla 10

Propiedades de metales solidos

TABLA A-3

Propiedades de metales sólidos

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), k(W/m · K)/c _p (J/kg · K)					
		ρ kg/m ³	c_p J/kg · K	k W/m · K	$\alpha \times 10^6$ m ² /s	100	200	400	600	800	1 000
Cobalto	1 769	8 862	421	99.2	26.6	167 236	122 379	85.4 450	67.4 503	58.2 550	52.1 628
Cobre:											
Puro	1 358	8 933	385	401	117	482 252	413 356	393 397	379 417	366 433	352 451
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	1 293	8 800	420	52	14		42 785	52 160	59 545		
Bronce al fósforo para engranes (89% Cu, 11% Sn)	1 104	8 780	355	54	17		41 —	65 —	74 —		
Latón para cartuchos (70% Cu, 30% Zn)	1 188	8 530	380	110	33.9	75	95 360	137 395	149 425		
Constantán (55% Cu, 45% Ni)	1 493	8 920	384	23	6.71	17 237	19 362				

Nota. Tomado de Transferencia de Calor y Masa. Fuente: (Yunus & Cengel, 2007)

Interpolamos los valores que están entre 600K y 800 K.

$$K: \frac{633,15 - 600}{800 - 600} = \frac{K - 379}{36 - 379}$$

$$K = 376,84 \cdot \frac{W}{M \cdot K}$$

$$Cp: \frac{633,15 - 600}{800 - 600} = \frac{Cp - 417}{433 - 417}$$

$$Cp = 419,65 \frac{5}{Kg \cdot K}$$

Ahora hallamos la longitud característica.

Hallamos Lc de cobre:

$$Lc = \frac{Y}{As}$$

$$Lc = \frac{38,8 \times 25,2 \times 1460}{2(38,8 \times 25,2) + 2(38,8 \times 1460) + 2(25,2 \times 1460)}$$

$$Lc = 75,5965 \times 10^{-4} m$$

Y por último reemplazamos en la formula:

Reemplazamos:

$$h = 9,87553 \times 10^{-4} \times 8933 \times 419,65 \times 75,5965 \times 10^{-4}$$

$$h = 27,9838 w/m^2 \cdot K$$

Y así podemos obtener el valor del Coeficiente de transferencia de calor por convección. Que, según las tablas, sigue siendo un valor de convección natural.

Tabla 11

Coeficientes individuales de transmisión de calor por convección

Coeficientes individuales de transmisión de calor por convección.		
Fluido	Tipo de convección	h (J·m ⁻² ·s ⁻¹ ·K ⁻¹)
Aire	Natural	5-30
Aire	Forzada	10-500
Aire (congelación)	Natural	5-10
Agua líquida	Natural	500-1000
Agua líquida	Forzada	500-6000
Agua en ebullición	Forzada	3000-60000
Agua en condensación	Forzada	6000-120000
Vapor de agua sobrecalentado	Forzada	30-300

Nota. Tomada de convección natural y forzada. Fuente: (Industrial, s.f.)

Análisis de la barra en el medio ambiente.

En este caso, la barra de cobre está a una temperatura inicial de 450 °C y se enfría en el medio ambiente por convección natural hasta una temperatura de 300 °C.

Queremos hallar si es un sistema concentrado, y el tiempo que le toma a la barra llegar a la temperatura final.

Procedemos a realizar los cálculos.

1. Longitud característica.

Hallamos la longitud característica del cobre.

Mediante la siguiente formula.

$$Lc = \frac{V}{As}$$
$$Lc = \frac{38,38 \times 25,2 \times 1460}{2(38,8 \times 25,2) + 2(38,8 \times 1460) + 2(25,2 \times 1460)}$$
$$Lc = 75,5965 \times 10^{-4} m$$

1. Numero de Biot. (sistema concretado)

Hallamos el número Biot con la siguiente formula:

$$Bi = \frac{h * Lc}{K}$$

Para este caso en particular ya tenemos Lc y h. Nos falta hallar el k que es el coeficiente de conductividad térmica.

Cuando el cobre se encuentra a una temperatura de 450 °C y se enfría hasta 300 °C.

De la siguiente tabla interpolamos y hallamos los valores de Cp y k del cobre a una temperatura promedio.

La cual es: $(450+300) / 2 = 375 \text{ °C}$ (648.15 K)

Tabla 12

Propiedades de metales solidos- metal cobre

TABLA A-3

Propiedades de metales sólidos

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), $k(\text{W/m} \cdot \text{K})/c_p(\text{J/kg} \cdot \text{K})$					
		ρ kg/m ³	c_p J/kg · K	k W/m · K	$\alpha \times 10^6$ m ² /s	100	200	400	600	800	1 000
Cobalto	1 769	8 862	421	99.2	26.6	167 236	122 379	85.4 450	67.4 503	58.2 550	52.1 628
Cobre:											
Puro	1 358	8 933	385	401	117	482 252	413 356	393 397	379 417	366 433	352 451
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	1 293	8 800	420	52	14		42 785	52 160	59 545		
Bronce al fósforo para engranes (89% Cu, 11% Sn)	1 104	8 780	355	54	17		41 —	65 —	74 —		
Latón para cartuchos (70% Cu, 30% Zn)	1 188	8 530	380	110	33.9	75	95	137	149		
Constantán (55% Cu, 45% Ni)	1 493	8 920	384	23	6.71	17 237	19 362				

Nota. Tomado de Transferencia de Calor y Masa. Fuente: (Yunus & Cengel, 2007)

Interpolamos entre los valores de 600 K y 800 K.

$$K: \frac{648,15 - 600}{800 - 600} = \frac{K - 379}{366 - 379}$$

$$K = 375,87 \text{ w/m.K}$$

$$Cp: \frac{648,15 - 600}{800 - 600} = \frac{Cp - 417}{433 - 417}$$

$$Cp = 420,85 \text{ j/Kg.K}$$

Teniendo todos los valores, podemos hallar el Numero de Biot.

$$Bi = \frac{h \cdot Lc}{K}$$

$$Bi = \frac{27,9838.75,5965 \times 10^{-4}}{375,87}$$

$$Bi = 5,6282 \times 10^{-4}$$

$$Bi = 0,00056282 \leq 0,1$$

Para sistemas concentrados, se tiene que cumplir la siguiente relación.

$$Bi \leq 0,1$$

Como el número hallado de Biot es menor que 0.1, podemos concluir que el sistema es concentrado.

3.- Ecuación para sistemas concentrados.

Utilizamos la siguiente formula:

$$\theta = \frac{T(t) - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = e^{-bt} = e^{-\frac{hA_s t}{\rho V c_p}} = e^{-BiFo}$$

Nota. Tomado de Transferencia de Calor y Masa. Fuente: (Yunus & Cengel, 2007)

Donde nosotros precalentamos la barra de cobre a una temperatura de 450 °C y la dejamos enriar en el medio ambiente hasta que llegue a una temperatura de 300 °C. Queremos saber cuánto tiempo le toma llegar hasta dicha temperatura.

Temperatura inicial= 450 °C

Temperatura final = 300 °C

Primero hallamos b, para poder desarrollar más rápido la ecuación:

$$b = \frac{h}{pxCpxLc}$$

$$b = \frac{27,9838}{8933x420,85x75,5965x10^{-4}}$$

$$b = 0,0009846 \text{ s}^{-1}$$

Ahora procedemos a reemplazar en la ecuación.

$$\frac{T(t) - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = e^{-bt}$$

$$\frac{300 - 20}{450 - 20} = e^{-(b).t}$$

$$\ln\left(\frac{280}{430}\right) = -b.t$$

$$-0,428996 = -b.t$$

$$\frac{0.428996}{0.00098465^{-1}} = t$$

$$t = 435.6846 \text{ Seg.}$$

$$t = 7.26 \text{ minutos}$$

Podemos concluir que el tiempo que se demora el cobre en enfriarse de 450 °C a 300 °C será de 435.68 segundos o 7.26 minutos.

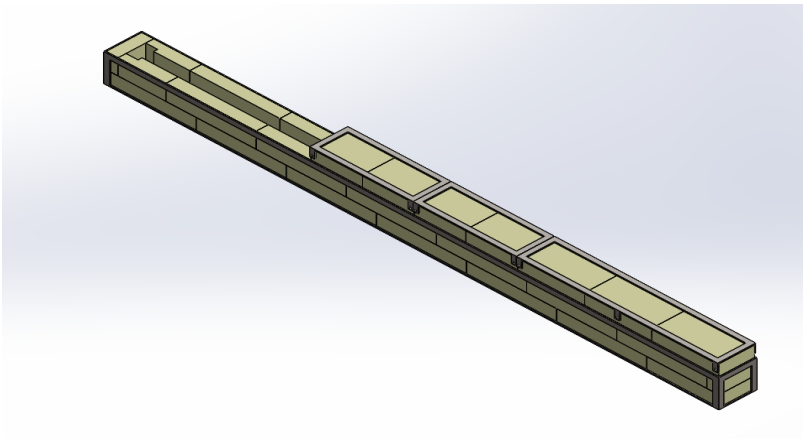
3.2. Análisis térmico aplicado al prototipo.

3.2.1. Geometría de barra y aislador

Para el aislador su geometría diseñada es la siguiente:

Figura 40

Geometría del aislador



Nota. Elaboración propia.

Para la barra de cobre su geometría establecida es la siguiente:

Figura 41

Geometría de barra de cobre



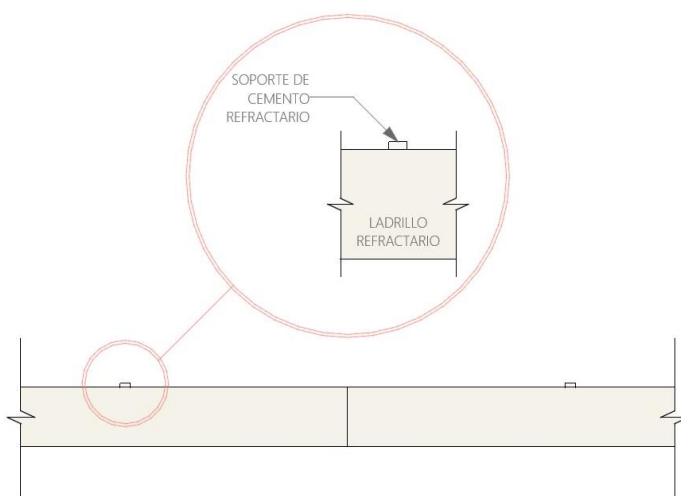
Nota. Elaboración propia.

Debemos resaltar de manera puntual que la barra de cobre entrara dentro del aislador para poder conservar su temperatura ideal para poder mantequillarlo o soldarlo, nosotros hemos propuesto que dentro del aislador específicamente en la base se ponga unos soportes de altura de 2 mm, así poder obtener una transferencia de calor por convección alrededor de toda la barra pareja, se plantea de manera que la barra este en el medio del aislador en todas sus caras, con una distancia de separación de 2 mm.

Se muestra la base del aislador:

Figura 42

Detalle del soporte en el aislador térmico

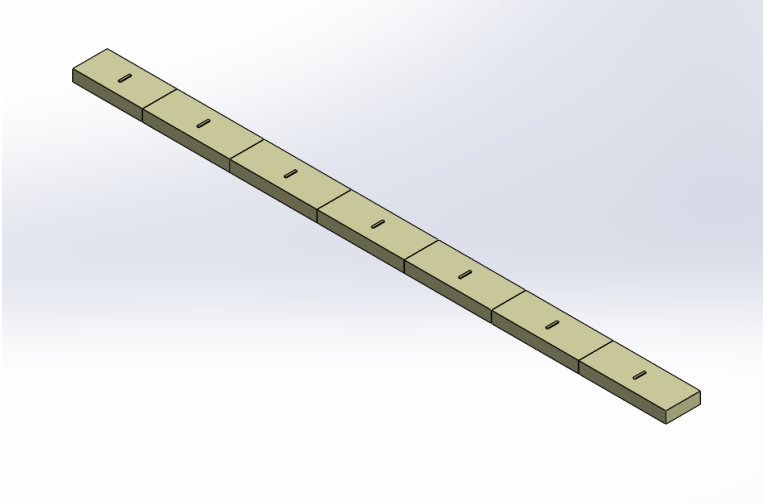


Nota. Elaboración propia

Podríamos representarlo de la siguiente manera la base del aislador:

Figura 43

Geometría de ladrillos base

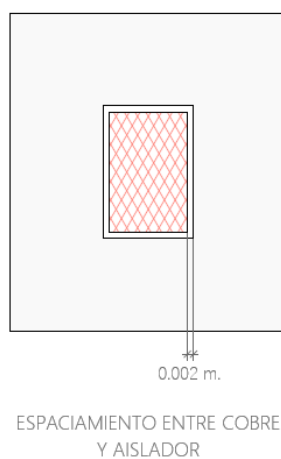


Nota. Elaboración propia

Y así poder tener ese espaciamiento ya mencionado entre el aislador y la barra de cobre.

Figura 44

Espaciamiento entre barra de cobre y aislador térmico



Nota. Elaboración propia

3.2.2. *Cálculos por transferencia de calor aplicados al prototipo con la barra.*

Para realizar los cálculos procederemos en realizarlo en 3 pasos, los cuales son:

1. Analizaremos la barra de cobre y el aislador de manera separada utilizando el programa SST-CONDUCT para que nos dé una idea si el prototipo cumple con su función de aislamiento de la barra de cobre, así mismo la barra de cobre se analizará si es un sistema concentrado. Y esto se hará por cada pase de soldadura que se realizará. Esto se hace para que nos dé una idea de cómo cada parte se resuelve de manera separada pero que en si es un solo sistema, y que más adelante con las ecuaciones de transferencia de calor se avale los resultados.
2. En el segundo punto se analizará solo la pared de aislador térmico, utilizando métodos numéricos, en la cual se utiliza la serie de Taylor aplicada a transferencia de calor en régimen transitorio unidimensional.
3. En el último punto se analizará solo la barra de cobre, utilizando la ecuación de conducción en régimen transitorio para sistemas concentrados, que parte de la ley de enfriamiento de newton.

Esto se hace para poder resolver el problema de manera satisfactoria y que sea entendible.

Datos:

- Cobre: Temperatura de 450 °C a 300 °C

Para este caso usaremos temperatura media del cobre.

$$T_{\text{media}} = 375 \text{ °C}$$

A esa temperatura tenemos los siguientes datos del cobre:

$$k = 375,87 \text{ w/m.k.}$$

$$C_p = 420,85 \text{ J/Kg.k}$$

$$\rho = 8933 \text{ Kg/m}^3$$

$$\alpha = 0,0000997996 \text{ m/s}^2$$

- Medio Ambiente:

Tenemos los siguientes datos del medio ambiente del taller:

$$T_{\infty} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$h = 27,98 \text{ w/m}^2 \cdot \text{k}$$

Presentamos el siguiente gráfico el cual serán los pases de soldadura que se harán en la barra de cobre.

Tenemos las dimensiones de la barra de cobre a temperatura ambiente (20 °C) y a la temperatura máxima que llegará (450 °C).

- Barra de cobre a 20 °C

$$L = 1450 \text{ mm}$$

$$H = 38.5 \text{ mm}$$

$$A = 25 \text{ mm}$$
- Barra de cobre a 450 °C

$$L = 1460 \text{ mm}$$

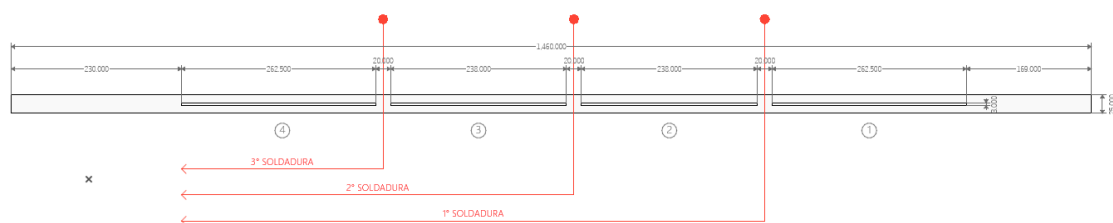
$$H = 38.8 \text{ mm}$$

$$A = 25.2 \text{ mm}$$

Ahora presentamos el cuadro de soldaduras:

Figura 45

Cuadro de soldadura en barra de cobre



Nota. Elaboración propia

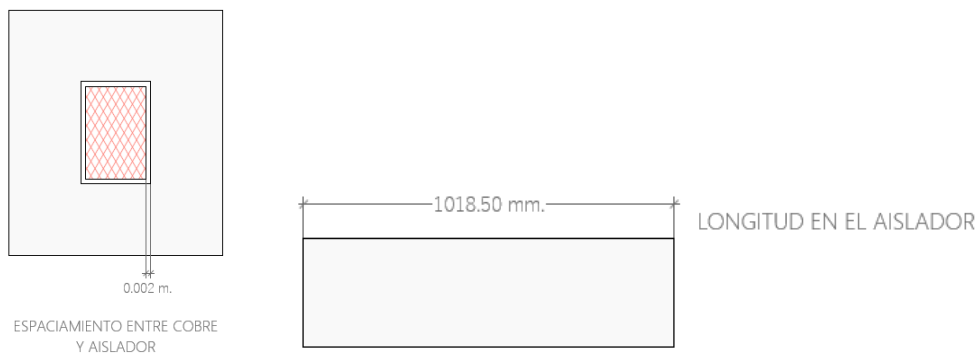
1. PRIMERA SOLDADURA.

Para la primera parte soldaremos punto 1, lo demás estará dentro del aislador térmico.

A. Tiempo en la primera soldadura.

Figura 46

Distancia de barra de cobre en aislador primera soldadura



Nota. Elaboración propia

Tiempo de soldeo del punto 1.

$$e = v \cdot t.$$

$$265.5 * 2 + 3 * 2 = 1.8 * t$$

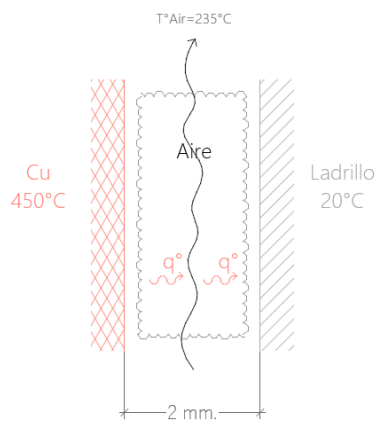
$$\frac{531}{1.8} = t$$

$$t = 295 \text{ segundos} = 4.91 \text{ minutos}$$

B. Propiedades aire entre cobre y aislador.

Figura 47

Detalles de aire dentro de aislador térmico



Nota. Elaboración propia

$$T_{air} = \frac{450+20}{2}$$

$$T_{air} = 235 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

De tablas sacamos a la T air de 235 °C:

$$\rho = 0,6960 \text{ kg/m}^3$$

$$k = 0,0401 \text{ w/m.k}$$

$$C_p = 1030 \text{ J/kg.k}$$

$$\alpha = 5,6092 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\mu = 2,7051 \times 10^{-5} \text{ Kg/m.s}$$

$$\nu = 3,90 \times 10^5 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pr = 0,6954 \text{ Pr}$$

Ahora haremos una pequeña igualdad para poder hallar el coeficiente de convección de aire entre el cobre y aislador.

$$\vec{q} = \frac{T_1 - T_{air}}{R_{cond}} = \frac{T_{air} - T_2}{R_{conv}}$$

$$R_{cond} = \frac{\Delta X}{K.A}$$

$$R_{conv} = \frac{1}{h.A}$$

Reemplazamos:

$$\frac{K.A}{\Delta X} (T_1 - T_{air}) = h.A (T_{air} - T_2)$$

$$h = \frac{k}{\Delta x} \frac{(T_1 - T_{air})}{(T_{air} - T_2)}$$

$$h = \frac{0,0401}{0,002} \frac{(450 - 235)}{(235 - 20)}$$

$$h = 20.05 \text{ w/m}^2.k$$

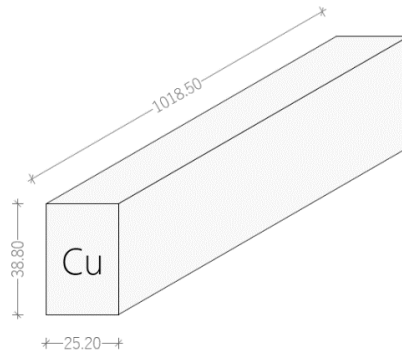
Este coeficiente de convección de aire interno, será solo utilizado para el primer tiempo de soldeo.

- Para la barra de cobre, hallamos si es un sistema concentrado.

Tenemos el siguiente gráfico, que representa la distancia de la barra de cobre dentro del aislador térmico.

Figura 48

Geometría de barra dentro del aislador



Nota. Elaboración propia

Y tenemos la condición para el sistema concentrado. $Bi < 0,1$.

Hallamos la longitud característica:

$$L_c = \frac{38,8 \times 25,2 \times 1018,5}{2(38,8 \times 25,2) + 2(25,2 \times 1018,5) + 2(38,8 \times 1018,5)}$$

$$L_c = 75,2586 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Ahora podemos reemplazar en la fórmula de Biot:

$$Bi = \frac{h \cdot L_c}{K} = \frac{20,05 \times 75,2586 \times 10^{-4}}{375,87}$$

$$Bi = 0,00040065$$

La cual es menor que 0.1 y cumple la función de sistema concentrado.

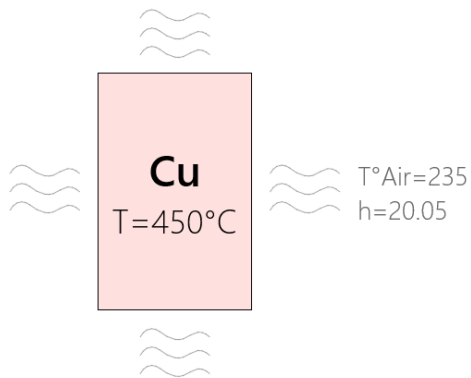
- Ponemos al programa del Libro de Cengel (Métodos numéricos estado transitorio)
Lo analizaremos de manera separada, el cobre y el aislador térmico. Programa de SST-CONDUCT.

A. Cobre.

Figura 49

Temperatura de cobre inicial (primer pase)

A Cobre (Bidimensional)

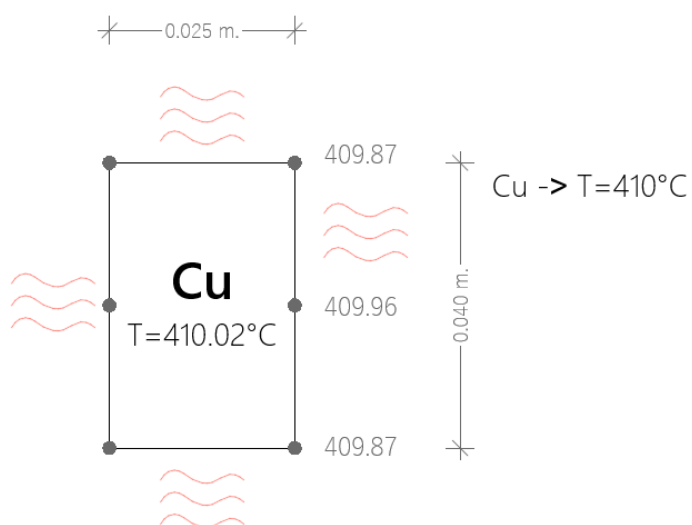


Nota. Elaboración propia

Hallamos con el programa en 300 segundos.

Figura 50

Temperatura de cobre después de 300 seg.



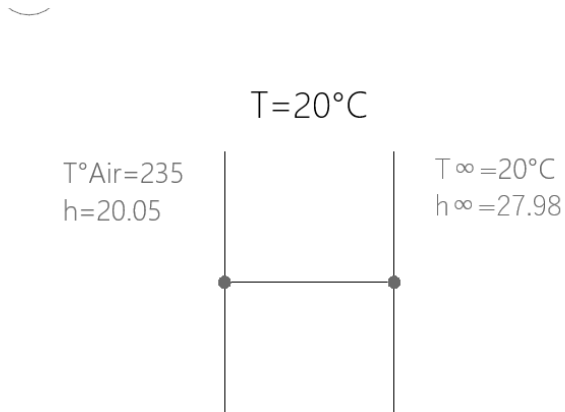
Nota. Elaboración propia

Donde tenemos una temperatura final de 410°C .

B. Aislador térmico.

Figura 51

Temperaturas ambiente de aislador



Nota. Elaboración propia.

Aislador: (Ladrillo refractario).

De tablas tenemos los siguientes datos:

$$\rho = 2645 \text{ Kg/m}^3$$

$$k = 1,0 \text{ w/m.k}$$

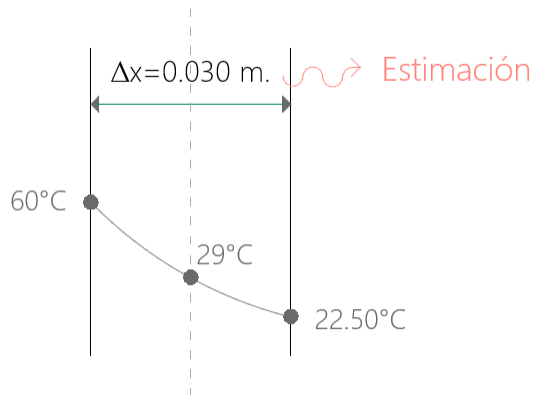
$$C_p = 960 \text{ J/Kg.k}$$

$$\alpha = \frac{k}{C_p * \rho} = 3.9382 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

Hallamos para el tiempo de 300 segundos.

Figura 52

Temperatura de aislador en 300 seg.



Nota. Elaboración propia

Donde se presenta en los 3 puntos que analizamos en las paredes del aislador térmico y como varia su temperatura con el transcurrir del tiempo.

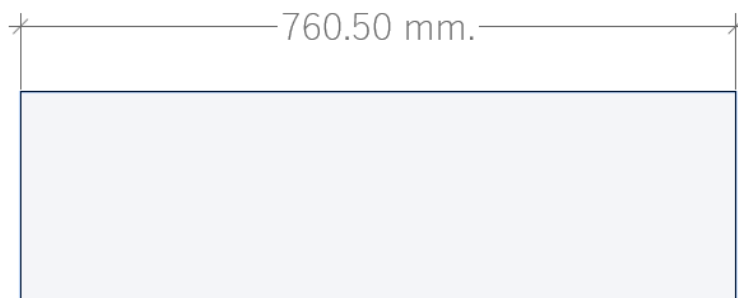
2. SEGUNDA SOLDADURA

Para la segunda parte soldaremos el punto 2, y lo restante seguirá dentro del aislador térmico.

A. Tiempo en la segunda soldadura.

Figura 53

Longitud cobre en aislador segunda soldadura.



Nota. Elaboración propia

Tiempo de soldeo del punto 1.

$$e = v \cdot t.$$

$$238 * 2 + 3 * 2 = 1.8 * t$$

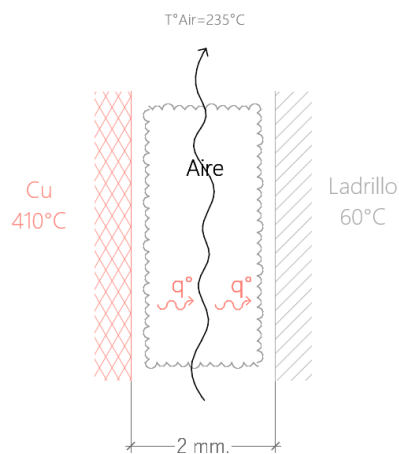
$$\frac{482}{1.8} = t$$

$$t = 267.78 \text{ segundos} = 270 \text{ segundos}$$

B. Propiedades entre el cobre y aislador térmico.

Figura 54

Detalles de aire dentro de aislador térmico



Nota. Elaboración propia

$$T_{air} = \frac{410+60}{2}$$

$$T_{air} = 235 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

De tablas sacamos a la T air de 235 °C:

$$k = 0,0401 \text{ w/m.k}$$

Aplicamos la misma igualdad hallada anteriormente:

$$\vec{q} = \frac{T_1 - T_{air}}{R_{cond}} = \frac{T_{air} - T_2}{R_{conv}}$$

$$R_{cond} = \frac{\Delta X}{K.A}$$

$$R_{conv} = \frac{1}{h.A}$$

Reemplazamos:

$$\frac{k.A}{\Delta X}(T_1 - T_{air}) = h.A(T_{air} - T_2)$$

$$h = \frac{k}{\Delta x} \frac{(T_1 - T_{air})}{(T_{air} - T_2)}$$

$$h = \frac{0,0401}{0,002} \frac{(410 - 235)}{(235 - 60)}$$

$$h = 20.05 \text{ w/m}^2.k$$

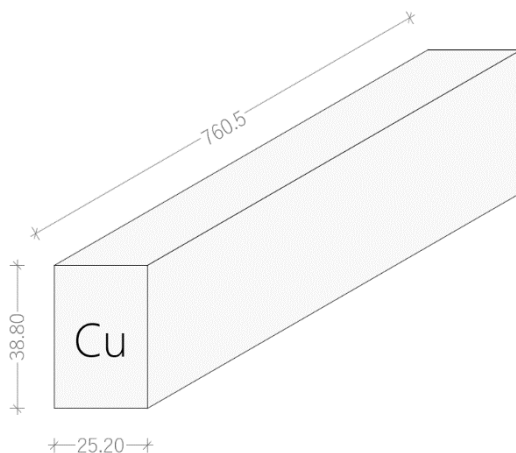
Este coeficiente de convección de aire interno, será solo utilizado para el segundo tiempo de soldeo.

- Para la barra de cobre, hallamos si es un sistema concentrado.

Tenemos el siguiente gráfico, que representa la distancia de la barra de cobre dentro del aislador térmico.

Figura 55

Geometría de barra dentro de aislador



Nota. Elaboración propia

Hallamos la longitud característica:

$$L_c = 74.8831 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Ahora podemos reemplazar en la fórmula de Biot:

$$Bi = \frac{h \cdot L_c}{k} = \frac{20,05 \times 74.8831 \times 10^{-4}}{375,87}$$

$$Bi = 4.037 \times 10^{-4} \leq 0.1$$

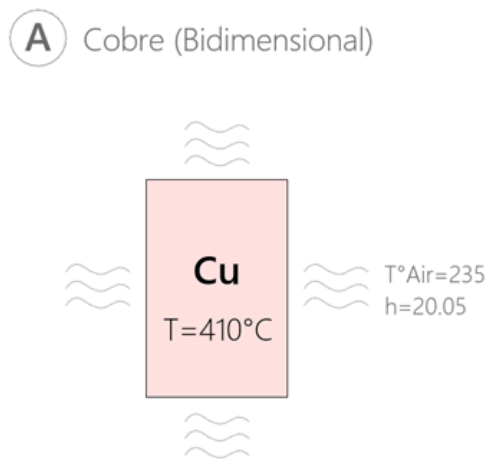
La cual es menor que 0.1 y cumple la función de sistema concentrado.

- Ponemos al programa del Libro de Cengel (Métodos numéricos estado transitorio)
Lo analizaremos de manera separada, el cobre y el aislador térmico. Programa de SST-CONDUCT.

A. Cobre

Figura 56

Temperatura de cobre inicial (Segundo pase)

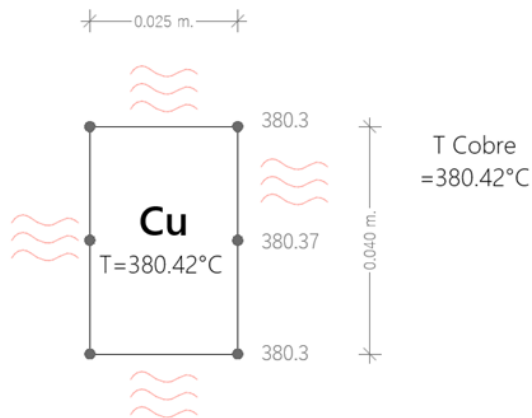


Nota. Elaboración propia

Hallamos con el programa, ya que seguimos con mismas condiciones, seguiremos con la misma ecuación, entonces después de 570 segundos.

Figura 57

Temperatura de cobre después de 570 seg

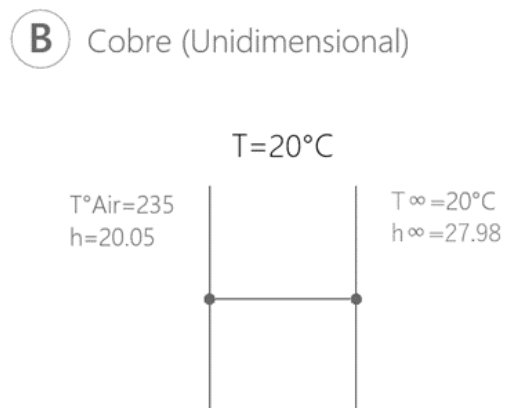


Nota. Elaboración propia

B. Aislador térmico.

Figura 58

Temperaturas ambiente de aislador



Nota. Elaboración propia

Aislador: (Ladrillo refractario).

De tablas tenemos los siguientes datos:

$$\rho = 2645 \text{ Kg/m}^3$$

$$K = 1,0 \text{ w/m.k}$$

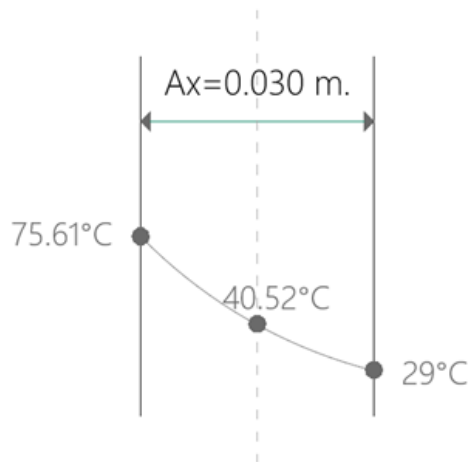
$$C_p = 960 \text{ J/Kg.k}$$

$$\alpha = \frac{k}{C_p * \rho} = 3.9382 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

Hallamos para el tiempo de 570 segundos.

Figura 59

Temperaturas aislador en 570 seg.



Nota. Elaboración propia

Donde se presenta en los 3 puntos que analizamos en las paredes del aislador térmico y como varia su temperatura con el transcurrir del tiempo.

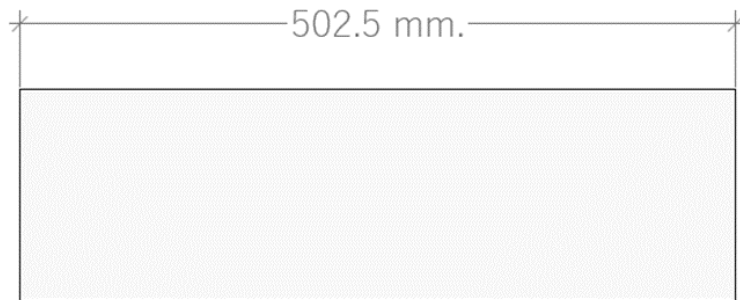
3. TERCERA SOLDADURA

Para la tercera parte soldaremos el punto 3, y lo restante seguirá dentro del aislador térmico.

A. Tiempo en la tercera soldadura.

Figura 60

Longitud de cobre en aislador tercera soldadura



Nota. Elaboración propia

Tiempo de soldeo del punto 1.

$$e = v \cdot t.$$

$$238 * 2 + 3 * 2 = 1.8 * t$$

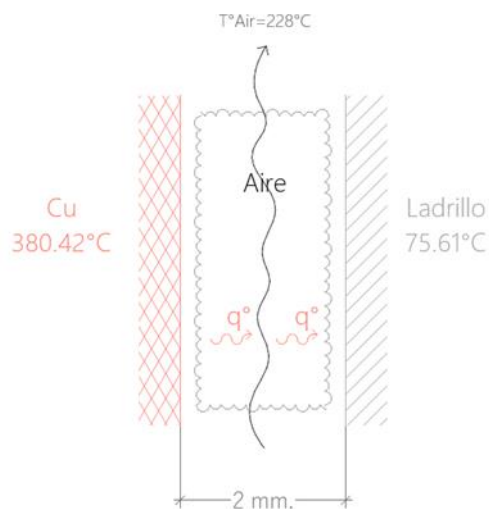
$$\frac{482}{1.8} = t$$

$$t = 267.78 \text{ segundos} = 270 \text{ segundos}$$

B. Propiedades entre el cobre y aislador térmico.

Figura 61

Detalles de aire dentro del aislador térmico



Nota. Elaboración propia.

$$T_{air} = \frac{380.42 + 75.61}{2}$$

$$T_{air} = 228 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

De tablas sacamos a la T_{air} de $228 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$K = 0,0396 \text{ w/m.k}$$

Aplicamos la misma igualdad hallada anteriormente:

$$\vec{q} = \frac{T_1 - T_{air}}{R_{cond}} = \frac{T_{air} - T_2}{R_{conv}}$$

$$R_{cond} = \frac{\Delta X}{K.A}$$

$$R_{conv} = \frac{1}{h.A}$$

Reemplazamos:

$$\frac{K.A}{\Delta X} (T_1 - T_{air}) = h.A (T_{air} - T_2)$$

$$h = \frac{k}{\Delta x} \frac{(T_1 - T_{air})}{(T_{air} - T_2)}$$

$$h = \frac{0,0396}{0,002} \frac{(380.42 - 228)}{(228 - 75.61)}$$

$$h = 19.80 \text{ w/m}^2.k$$

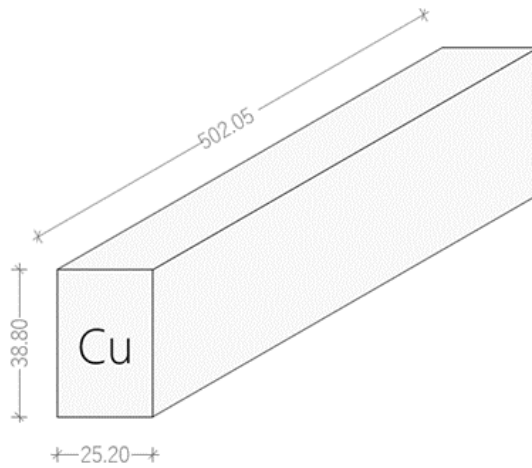
Este coeficiente de convección de aire interno, será solo utilizado para el tercer tiempo de soldeo. En este caso para un tema de poder resolver las ecuaciones de transferencia de calor y que no varía mucho con respecto al coeficiente anterior, se seguirá tomando el coeficiente inicial de 20.05.

- Para la barra de cobre, hallamos si es un sistema concentrado.

Tenemos el siguiente gráfico, que representa la distancia de la barra de cobre dentro del aislador térmico.

Figura 62

Geometría de barra dentro de aislador



Nota. Elaboración propia

Hallamos la longitud característica:

$$L_c = 74.1336 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Ahora podemos reemplazar en la fórmula de Biot:

$$Bi = \frac{h \cdot L_c}{K} = \frac{20,05 \times 74.1336 \times 10^{-4}}{375,87}$$

$$Bi = 3.98 \times 10^{-4} \leq 0.1$$

La cual es menor que 0.1 y cumple la función de sistema concentrado.

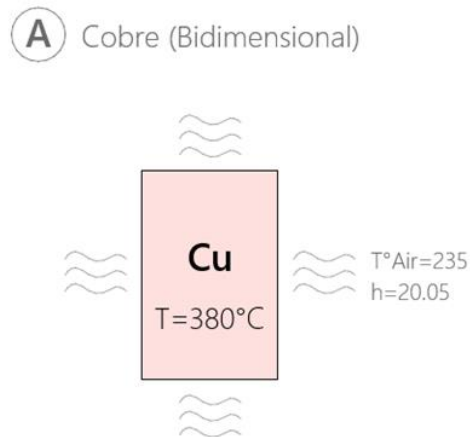
- Ponemos al programa del Libro de Yunus Cengel (Métodos numéricos estado transitorio)

Lo analizaremos de manera separada, el cobre y el aislador térmico.

A. Cobre

Figura 63

Temperatura de cobre inicial (Tercer pase)

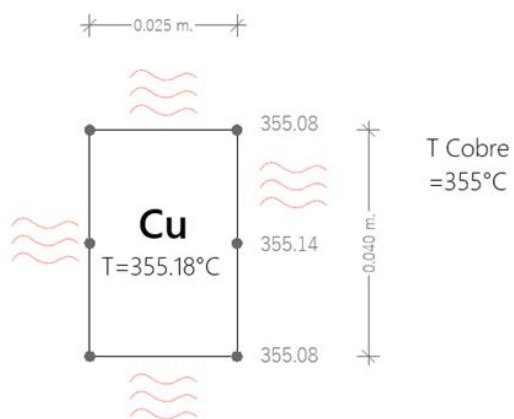


Nota. Elaboración propia

Hallamos con el programa, ya que seguimos con mismas condiciones, seguiremos con la misma ecuación, entonces después de 850 segundos.

Figura 64

Temperatura de cobre después de 850 seg.

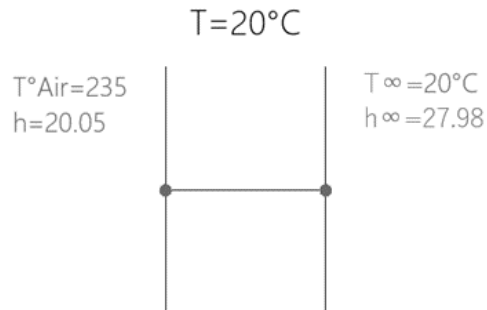


Nota. Elaboración propia

B. Aislador térmico.

Figura 65

Temperaturas ambiente de aislador



Nota. Elaboración propia

Aislador: (Ladrillo refractario).

De tablas tenemos los siguientes datos:

$$\rho = 2645 \text{ Kg/m}^3$$

$$K = 1,0 \text{ w/m.k}$$

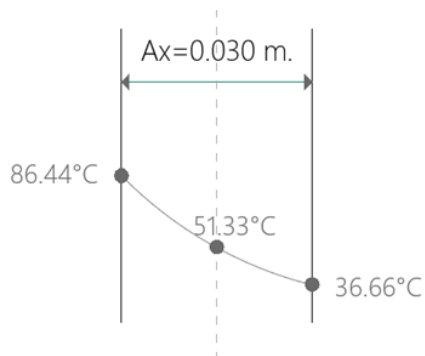
$$C_p = 960 \text{ J/Kg.k}$$

$$\alpha = \frac{k}{C_p * \rho} = 3.9382 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

Hallamos para el tiempo de 850 segundos.

Figura 66

Temperaturas de aislador en 850 seg



Nota. Elaboración propia

Donde se presenta en los 3 puntos que analizamos en las paredes del aislador térmico y como varia su temperatura con el transcurrir del tiempo.

4. CUARTA SOLDADURA

Para la cuarta parte punto 4, ya no hay aislador en la parte superior del cobre, esta descubierto en su totalidad.

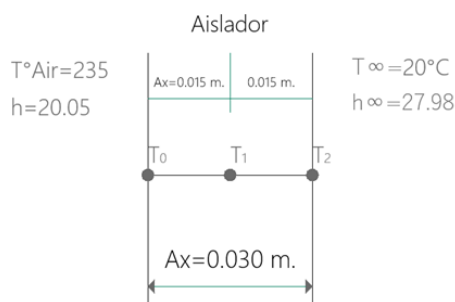
La T° del cobre esta a **355 C°** lista para soldarse o mantequillarse el último tramo.

MÉTODOS NUMÉRICOS PARA LA PARED DEL AISLADOR TÉRMICO (LADRILLO REFRACTARIO)

Anteriormente ya vimos con el programa el análisis de la pared del aislador, pero ahora desarrollaremos de manera más precisa con métodos números en los 3 puntos señalados dentro de las paredes del aislador térmico de manera unidimensional.

Figura 67

Paredes de aislador Térmico con nodos



Nota. Elaboración propia.

Tenemos la siguiente ecuación que podemos usar para resolver, la cual es la ecuación general explícita de diferencias finitas expresada como:

$$T_{m-1}^i - 2T_m^i + T_{m+1}^i + \frac{e_m^i \Delta x^2}{k} = \frac{(T_m^{i+1} - T_m^i)}{\tau}$$

Esta ecuación parte de la ecuación de conducción de calor y de la serie de Taylor, la

cual ya vimos cómo se resuelve mediante un balance de energía de la ecuación 2.21 en la página 59.

Para lo cual es este caso tomaremos el modelo que no presenta energía interna.

Reduciendo y haciendo ecuación de conservación de energía, tenemos:

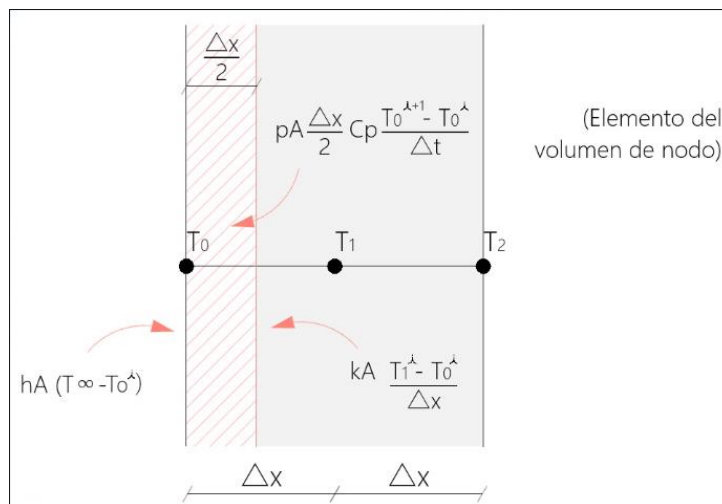
- Para esta parte es la formulación explícita en diferencias finitas de la condición de convección en la frontera izquierda de una pared plana. La cual se halla de un balance energético, la cual está mejor expresada en la ecuación 2.26 página 60.

$$h_{air}A(T_{Air} - T_0^i) + kA * \left(\frac{T_1 - T_0^i}{\Delta x}\right) = \rho A \frac{\Delta x}{2} Cp \frac{T_0^{i+1} - T_0^i}{\Delta t}$$

$$T_0^{i+1} = (1 - 2\tau - 2\tau \frac{h_{air} * \Delta x}{k})T_0^i + (2\tau T_1^i + 2\tau \frac{h_{air} * \Delta x}{k})T_{air}$$

Figura 68

Nodo 0 y balance de energía en pared de aislador



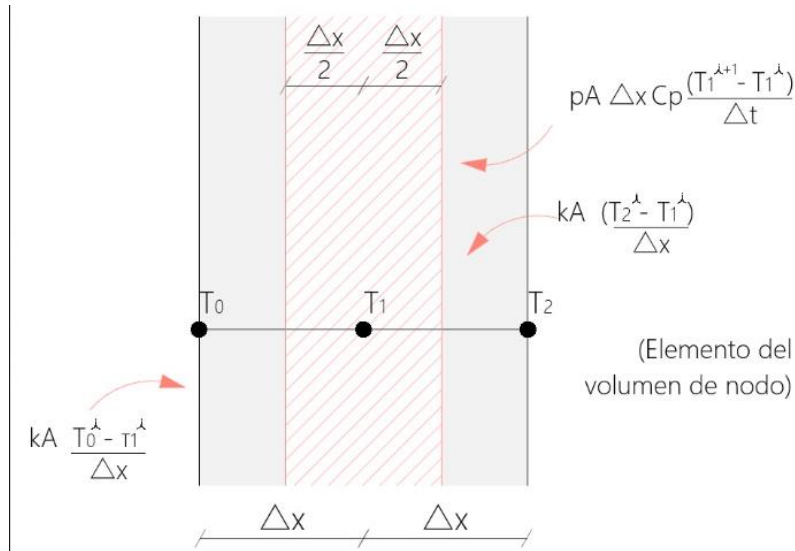
Nota. Elaboración propia

- Para esta parte es la formulación explícita en diferencias finitas de la condición de convección en régimen transitorio de la conducción unidimensional de calor en una pared plana. La cual se halla de un balance energético, la cual está mejor expresada en la ecuación 2.25 de la página 66.

$$T_1^{i+1} = \tau(T_0^i + T_2^i) + (1 - 2\tau)T_1^i$$

Figura 69

Nodo 1 y balance de energía en pared de aislador



Nota. Elaboración propia

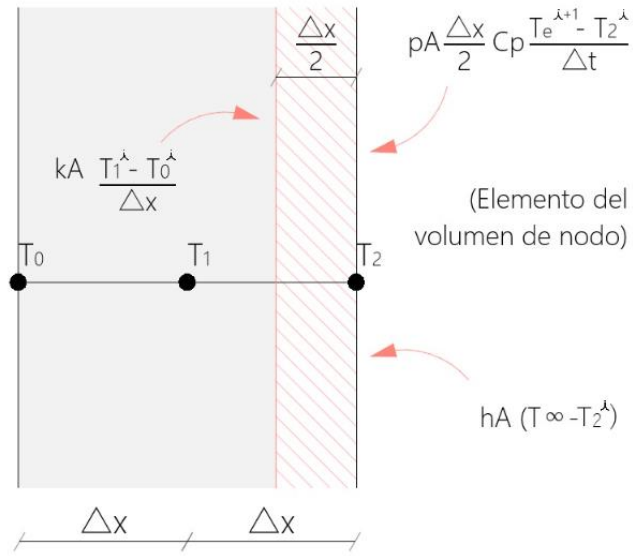
- Para esta parte es la formulación explícita en diferencias finitas de la condición de convección en la frontera derecha de una pared plana. La cual se halla de un balance energético, la cual está mejor expresada en la ecuación 2.26 página 60.

$$h_{\infty}A(T_{\infty} - T_2^i) + kA * \left(\frac{T_1 - T_2^i}{\Delta x}\right) = \rho A \frac{\Delta x}{2} Cp \frac{T_2^{i+1} - T_2^i}{\Delta t}$$

$$T_2^{i+1} = (1 - 2\tau - 2\tau \frac{h_{\infty} * \Delta x}{k})T_2^i + \tau(2T_1^i + 2 \frac{h_{\infty} * \Delta x}{k} * T_{\infty})$$

Figura 70

Nodo 2 y balance de energía en pared de aislador



Nota. Elaboración propia

Después hallamos τ :

$$\tau = \frac{\alpha \Delta t}{\Delta x^2}$$

Donde;

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x^2}{2\alpha(1 + \frac{h * \Delta x}{k})}$$

Y podemos decir que;

$$h_{air} < h_\infty$$

$$1 - 2\tau - 2\tau \frac{h_\infty * \Delta x}{k} < 1 - 2\tau - 2\tau \frac{h_{air} * \Delta x}{k}$$

Y cogemos la relación más pequeña que sería de h_∞ .

Donde:

$$1 - 2\tau - 2\tau \frac{h_\infty * \Delta x}{k} \geq 0 \rightarrow \tau \leq \frac{1}{2(1 + \frac{h_\infty * \Delta x}{k})}$$

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x^2}{2\alpha(1 + \frac{h * \Delta x}{k})}$$

Entonces podemos reemplazar en la ecuación;

$$\Delta t \leq \frac{0.015^2}{2 \times 3,9382 \times 10^{-7} (1 + \frac{27.98 \times 0.015}{1})}$$

$$\Delta t \leq 201.21 \text{ seg}$$

Nosotros para este análisis, optamos por:

$$\Delta t = 100 \text{ seg}$$

Y podemos hallar:

$$\tau = \frac{3.9382 \times 10^{-7} \times 100}{0.015^2} = 0,17503$$

Luego tenemos ya los datos necesarios para poder reemplazar en las ecuaciones:

Hallamos algunos valores para ayudarnos en las ecuaciones:

- $1 - 2\tau - 2\tau \frac{h_{air} \cdot \Delta x}{k} = 0.54466 \quad / \quad 2\tau \frac{h_{air} \cdot \Delta x}{k} = 0.105281$
- $(1 - 2\tau) = 0.64994$
- $1 - 2\tau - 2\tau \frac{h_{\infty} \cdot \Delta x}{k} = 0.50302 \quad / \quad 2\tau \frac{h_{\infty} \cdot \Delta x}{k} = 0.8394$

Analizando:

I. Para 1 (t= 100 segundos)

Inicialmente tenemos:

$$T_0^{\circ} = 20C^{\circ} / T_1^{\circ} = 20C^{\circ} / T_2^{\circ} = 20C^{\circ}$$

Reemplazando en fórmulas:

$$T_0^{0+1} = 0.54466 \times 20 + 0.35006 \times 20 + 0.105281 \times 235$$

$$T_0^1 = 42.64^{\circ}C$$

$$T_1^{0+1} = 0.175 \times 40 + 0.65(20)$$

$$T_1^1 = 20^{\circ}C$$

$$T_2^{0+1} = 0.50302 \times 20 + 0.175(2 \times 20 + 0.8394 \times 20)$$

$$T_2^1 = 20^{\circ}C$$

II. Para 2 (t= 200 segundos)

Inicialmente tenemos:

$$T_0^1 = 42.64^\circ C / T_1^1 = 20^\circ C / T_2^1 = 20^\circ C$$

Reemplazando en fórmulas:

$$T_0^{1+1} = 0.54466 \times 42.64 + 0.35006 \times 20 + 0.105281 \times 235$$

$$T_0^2 = 54,96^\circ C$$

$$T_1^{1+1} = 0.175 \times 62.64 + 0.65(20)$$

$$T_1^2 = 23,96^\circ C$$

$$T_2^{1+1} = 0.50202 \times 20 + 0.175(2 \times 20 + 0.8294 \times 20)$$

$$T_2^2 = 20^\circ C$$

Donde esto podemos hallar hasta un tiempo de 1200 segundos, que es el tiempo donde se termina de soldar las 4 partes de la barra de cobre.

Resolviendo las ecuaciones podemos tener la siguiente tabla:

Tabla 13

Tabla de tiempos y temperaturas

<i>ítem</i>	<i>Tiempo(seg)</i>	<i>T₀(0)</i>	<i>T₁(0.015)</i>	<i>T₂(0.30)</i>
0	0	20.00	20.00	20.00
1	100	42.64	20.00	20.00
2	200	54.96	23.96	20.00
3	300	63.07	28.69	21.39
4	400	69.14	33.43	23.74
5	500	74.10	37.98	26.58
6	600	78.40	42.31	29.01
7	700	82.25	46.40	32.64
8	800	85.78	50.27	35.60
9	900	89.06	53.92	38.44
10	1000	92.12	57.36	41.15
11	1100	95.00	60.61	43.72
12	1200	97.70	63.67	46.15

Nota. Elaboración propia.

Ahora pasamos a analizar la barra de cobre:

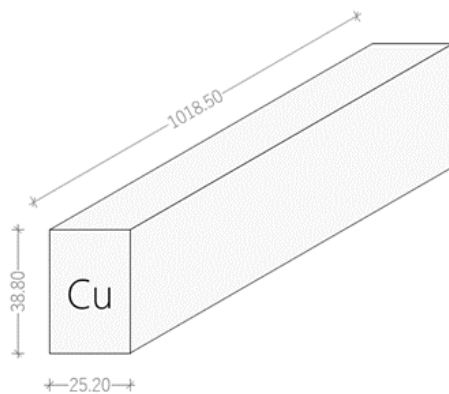
Analizaremos mediante la ecuación de la ley de enfriamiento de newton para sistemas concentrados, la cual podemos encontrar más detallada en la ecuación 2.11 de la página 51.

$$\frac{T(t) - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = e^{-bt}$$

A. Para el punto 1 de soldadura:

Figura 71

Geometría de barra de cobre en aislador (primer pase)



Nota. Elaboración propia

Se recalca que una de las caras de 38.8 x 25.2 del aislador no está en contacto con el medio interno.

1. Longitud característica:

$$L_c = \frac{38.8 \times 25.2 \times 1018.5}{(28.8 \times 25.2) + 2(25.2 \times 1018.5) + 2(38.8 \times 1018.5)}$$

$$L_c = 7,5818mm$$

$$L_c = 7,5818 \times 10^{-3}m$$

2. Biot:

$$Bi = \frac{20.05 \times 7.5818 \times 10^{-3}}{375.87} = 0.00040443 \leq 0.1$$

(Sistema Concentrado)

3. Ecuación de ley enfriamiento:

$$\frac{T(t) - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = e^{-bt}$$

Donde:

$$b = \frac{h}{\rho \times Lc \times Cp}$$

$$b = \frac{20.05}{8933 \times 420.35 \times 7.5810 \times 10^{-3}} = 7.0342 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

Se calcula después de 300 segundos:

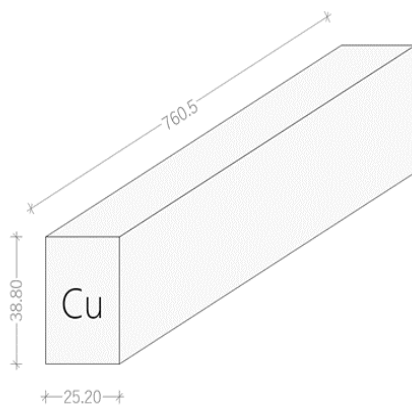
$$\frac{T(t) - 235}{450 - 235} = e^{-(7.0342 \times 10^{-4} \times 300)}$$

$$T(300) = 409,0966 \text{ C}^{\circ} \text{ \{luego de 300 seg\}}$$

B. Para el punto 2 de soldadura:

Figura 72

Geometría de barra de cobre en aislador (segundo pase)



Nota. Elaboración propia

Se recalca que una de las caras de 38.8 x 25.2 del aislador no está en contacto con el medio interno.

1. Longitud Característica:

$$Lc = \frac{38.8 \times 25.2 \times 760.5}{(38.8 \times 25.2) + 2(38.8 \times 760.5) + 2(25.2) \times 760.5}$$

$$Lc = 7,562786 \times 10^{-3} m$$

2. Biot:

$$Bi = \frac{h \times Lc}{k} = \frac{20.05 \times 7.56 \times 10^{-3}}{375.87} = 4.0342 \times 10^{-4} \leq 0.1$$

(Sistema Concentrado)

3. Ecuación de ley enfriamiento:

$$\frac{T(t) - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = e^{-bt}$$

Donde:

$$b = \frac{h}{\rho \times Lc \times Cp}$$

$$b = \frac{20.05}{8933 \times 420.35 \times 7.56 \times 10^{-3}} = 7.0519 \times 10^{-4} s^{-1}$$

Se calcula después de 570 segundos, que sería los 270 segundos de esta soldadura y los 300 segundos del anterior pase:

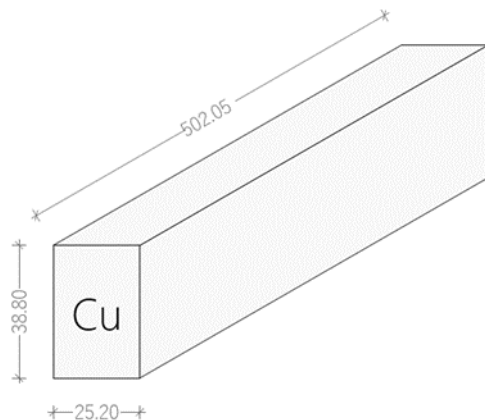
$$\frac{T(t) - 235}{409.0966 - 235} = e^{-(7.0519 \times 10^{-4} \times 270)}$$

$$T(t) = 378,91C^{\circ} \{luego de 270 seg pero, sumando tiempo total es de 570 seg\}$$

C. Para el punto 3 de soldadura:

Figura 73

Geometría de barra de cobre en aislador (tercer pase)



Nota. Elaboración propia

Se recalca que una de las caras de 38.8 x 25.2 del aislador no está en contacto con el medio interno.

1. Longitud característica:

$$Lc = \frac{38.8 \times 25.2 \times 502.5}{(38.8 \times 25.2) + 2(38.8 \times 502.5) + 2(25.2) \times 502.5}$$

$$Lc = 7,5243 \times 10^{-3} m$$

2. Biot:

$$Bi = \frac{h \times Lc}{k} = \frac{20.05 \times 7.5243 \times 10^{-3}}{375.87} = 4.01371 \times 10^{-4} \leq 0.1$$

(Sistema Concentrado)

3. Ecuación de ley enfriamiento:

$$\frac{T(t) - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = e^{-bt}$$

Donde:

$$b = \frac{h}{\rho \times Lc \times Cp}$$

$$b = \frac{20.05}{8933 \times 420.35 \times 7.52 \times 10^{-3}} = 7.08793 \times 10^{-4} s^{-1}$$

Se calcula después de 840 segundos, que sería los 270 segundos de esta soldadura, los 270 segundos de segundo pase y los 300 segundos del primer pase:

$$\frac{T(t) - 235}{378.91 - 235} = e^{-(7.08 \times 10^{-4} \times 270)}$$

$$T(t) = 353,84C^{\circ} \{ \text{luego de 270 seg pero,} \\ \text{sumando tiempo total es de 840 seg} \}$$

D. Para el punto 4 de soldadura:

Para la soldadura 4 a realizar tiene **T = (354°C)** inicialmente.

Lo que está dentro de los parámetros para poder soldar (200 a 500 °C). En nuestro caso que este mayor a 300°C la barra para ser mantequillado.

CAPÍTULO IV:

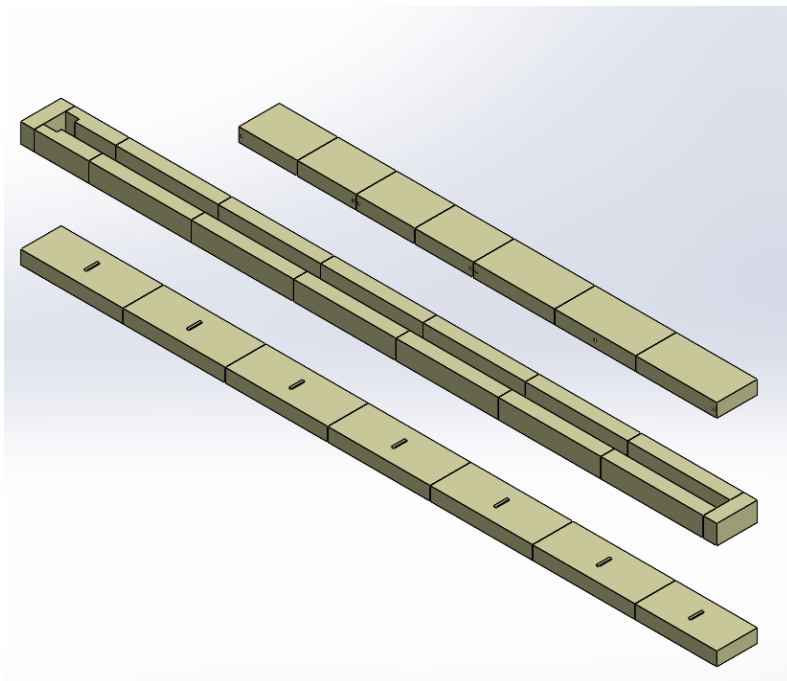
PROPUESTA DE DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL AISLADOR TÉRMICO

4.1. Dimensionamiento del aislador térmico

El dimensionamiento del aislador térmico, viene en relación a los ladrillos refractarios que estos están agrupados en ladrillos base, ladrillos laterales y ladrillos superiores.

Figura 74

Explosión de ladrillos del aislador térmico



Nota. Elaboración propia

- Ladrillos base: 1530 mm x 89.2 mm x 30 mm
- Ladrillos laterales: 1530 mm x 89.2 mm x 42.8 mm (espesor de las paredes es de 30 mm)
- Ladrillos superiores: 1050.6 mm x 89.2 mm x 30 mm

4.2. Construcción en programa de las partes del aislador térmico y la barra de cobre.

Para el análisis térmico del aislador y de la barra de cobre, se hace como lo

analizamos los cálculos del capítulo 3, entonces primeramente simularemos la barra de cobre según las dimensiones de cada soldadura, ya que varía su longitud de aislamiento en la barra de cobre. Y luego analizaremos las paredes del aislador térmico por separado cada una.

4.2.1. Simulación de la barra de cobre

En este caso primeramente analizaremos el tiempo de la barra de cobre cuando éste se esté realizando el primer tramo de mantequillado.

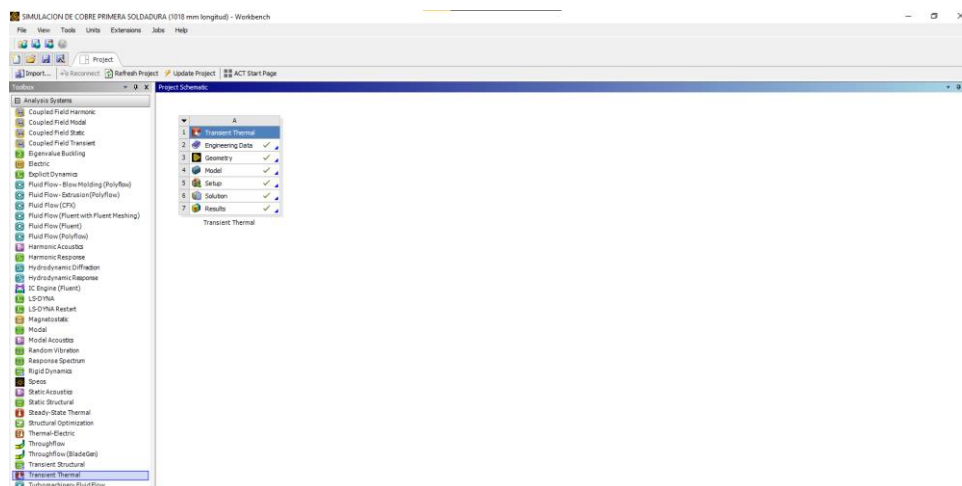
- Primer tramo de soldadura.

Para el primer tramo de soldadura, las dimensiones de la barra de cobre que estaría encapsulado en el aislador térmico son 25.5mm x 38.8mm x 1018.5mm. El cual explicaremos de manera detallada como se hizo la simulación y los datos obtenidos.

Elegimos el sistema que utilizaremos para analizar la barra de cobre. En este caso es Transient Thermal (ANSYS).

Figura 75

Pantalla principal ANSYS

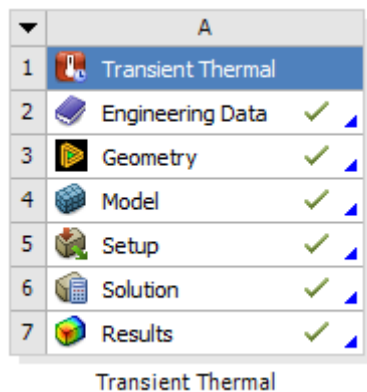


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Dentro del sistema, encontramos varios puntos donde tendremos que rellenar.

Figura 76

Transient Thermal

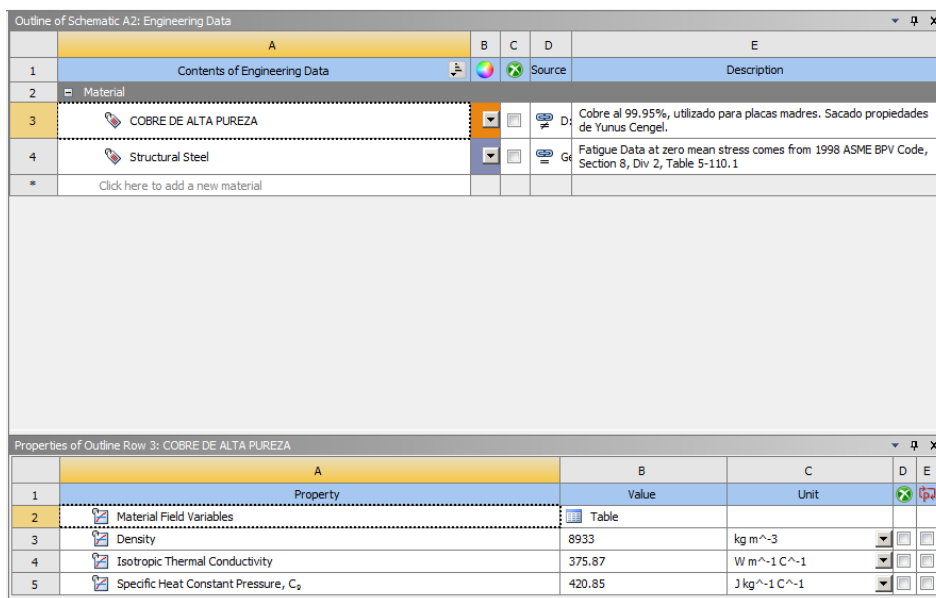


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Elegimos la opción de Engineering Data, con el fin de crear un nuevo material que nosotros usaremos, en este caso en particular es la barra de cobre, que tiene una pureza del 99.95%, pondremos su densidad, su conductividad térmica y su calor específico. Los cuales son los datos necesarios para poder hacer la simulación de manera adecuada.

Figura 77

Selección de material



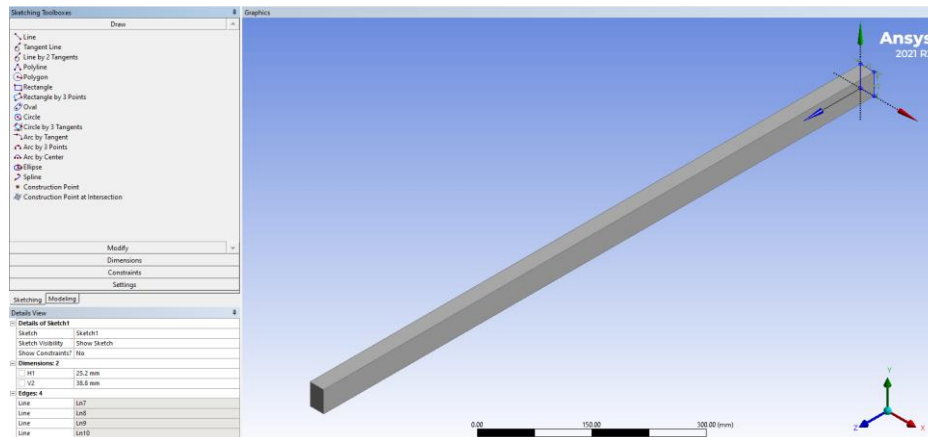
Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Luego cerramos la ventana, y proseguimos a elegir la siguiente opción, que sería

Geometry. En la cual crearemos la geometría de la barra ya mencionada.

Figura 78

Modelo de barra en ANSYS

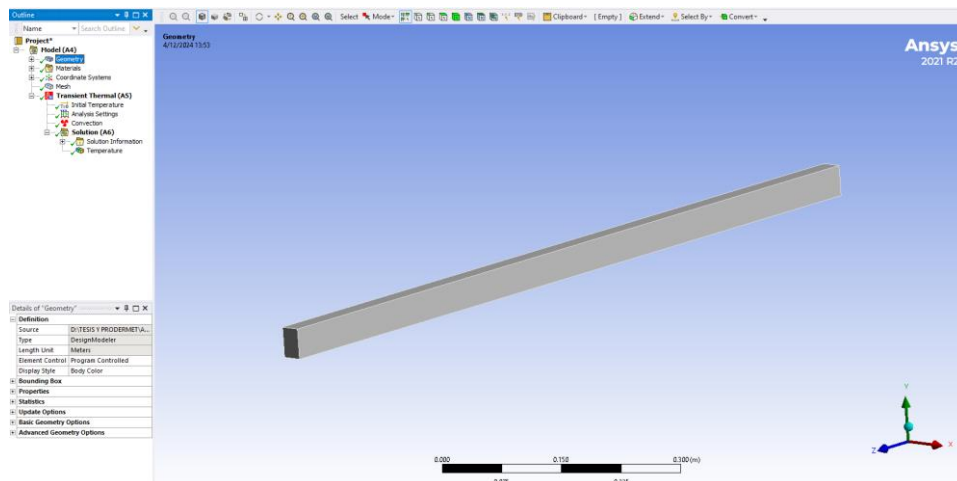


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Cerramos la ventana y luego elegimos la siguiente opción, que es Model, donde analizaremos la barra de cobre con respecto al tiempo.

Figura 79

Interfaz de barra en Transient Thermal

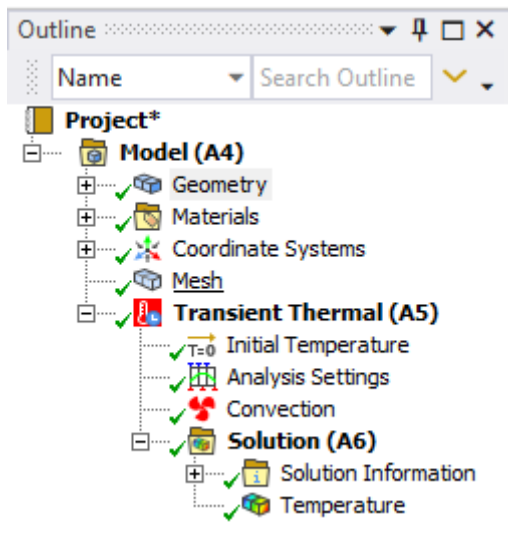


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

En la parte izquierda tenemos una barra con varias opciones, para poder rellenar y hacer la simulación de manera adecuada.

Figura 80

Panel del proyecto en Transient Thermal

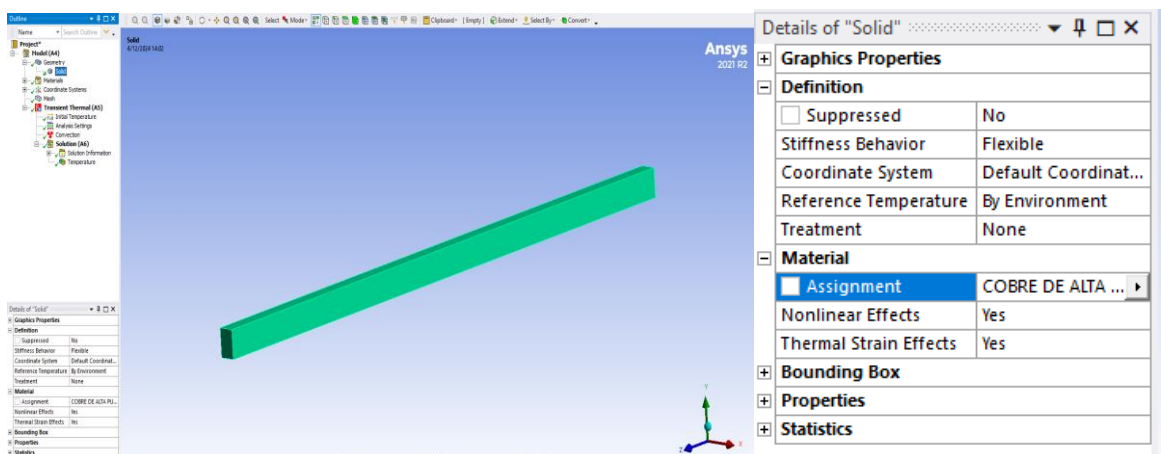


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

En la parte de Geometry, escogeremos el material que utilizaremos en la simulación. El cual será del cobre de alta pureza.

Figura 81

Selección de material para barra



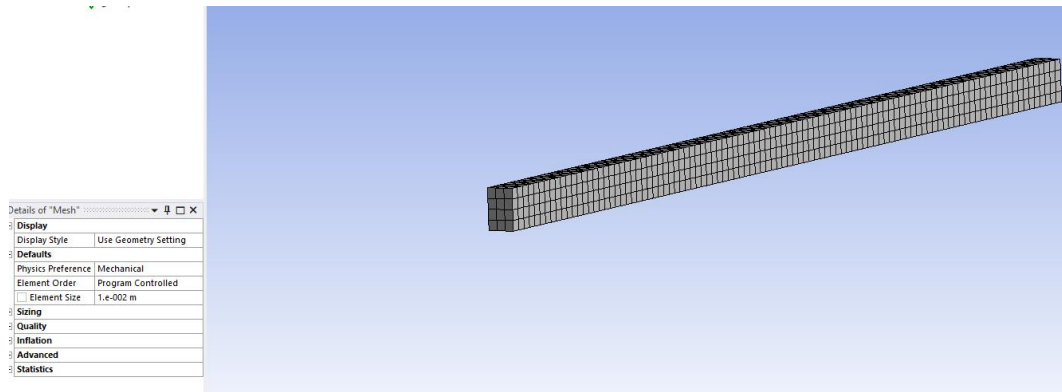
Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Ahora iremos a la parte de Mesh, donde haremos la malla para el análisis de la barra de cobre. Donde lo pondremos en element size, y ejecutaremos una malla lo necesario, ya que sabemos que este elemento se comporta de manera uniforme. Es

un sistema concentrado lo que estamos analizando.

Figura 82

Enmallado de barra

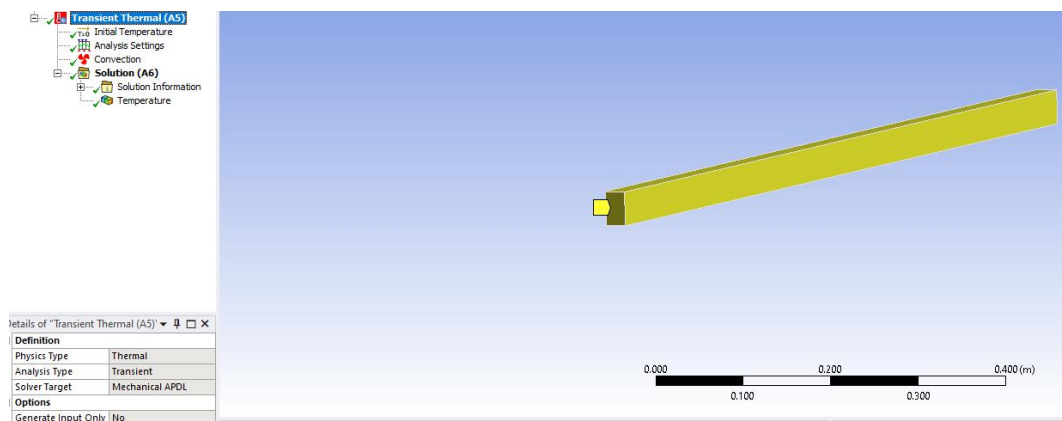


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Pasamos a analizar ahora la parte principal de la barra de cobre, pondremos los datos para el análisis térmico.

Figura 83

Selección de barra para análisis

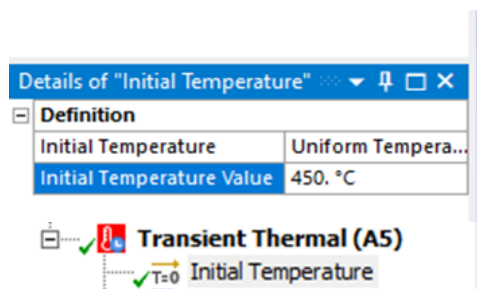


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

En la primera parte de la parte de Transient Thermal, donde colocaremos a que temperatura inicial se encuentra la barra de cobre. Eso se colocará en la opción de Initial Temperature. La cual será una temperatura inicial de 450 °C.

Figura 84

Temperatura inicial de la barra

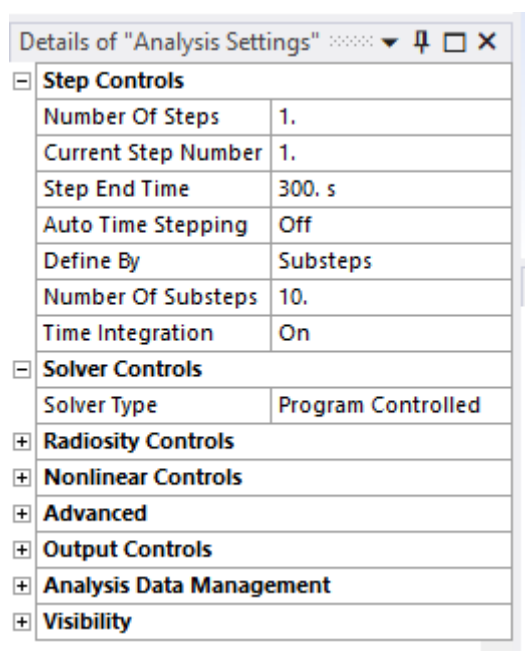


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

En el siguiente punto, pondremos analysis settings, el cual queremos analizar luego de 300 segundos que es cuando se acaba de soldar el primer tramo de soldadura en la barra de cobre.

Figura 85

Parámetros de tiempo

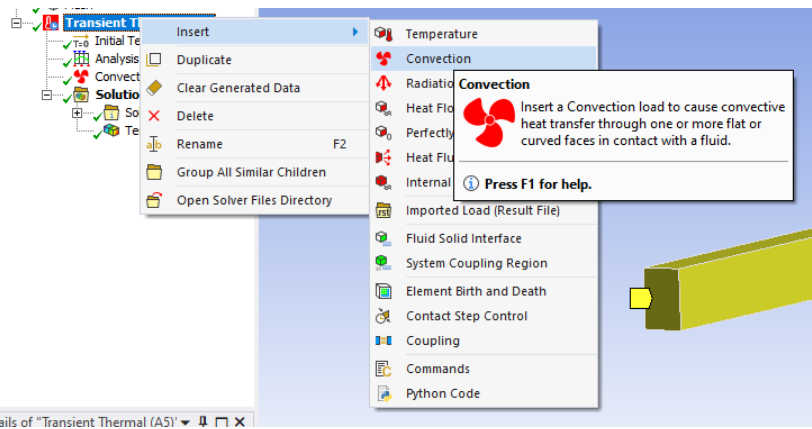


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Ahora dentro de las opciones de Transient Thermal, añadimos la opción de convección, ya que la barra esta netamente en transferencia de calor por convección.

Figura 86

Transferencia de calor Convección

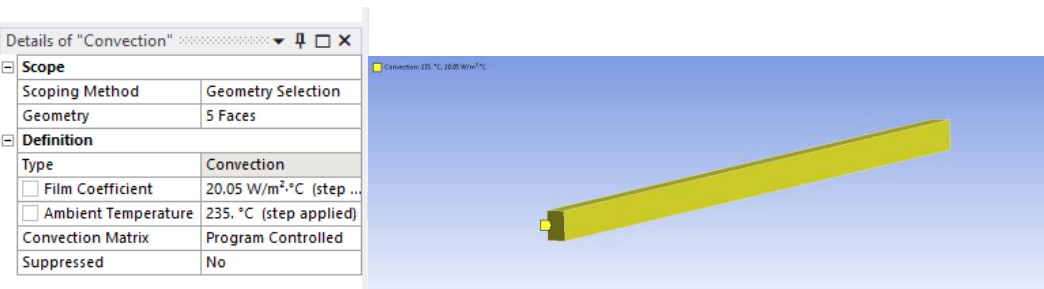


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Ponemos los datos de la convección, el cual es el aire que esta entre la barra de cobre y el aislador térmico. El cual hallamos mediante tablas. También tenemos que elegir qué áreas o caras de la barra está en contacto directo con el aire con el cual se generara la convección, en este caso en particular hay 5 caras que están en contacto, las seleccionamos.

Figura 87

Selección de parámetros de Convección

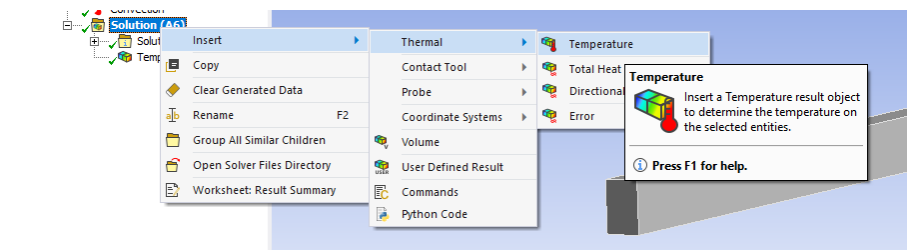


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

En la parte de solución añadimos temperatura, ya que es lo que queremos analizar con el paso del tiempo de la barra de cobre. Y le damos por último SOLVE, la cual nos solucionará el problema.

Figura 88

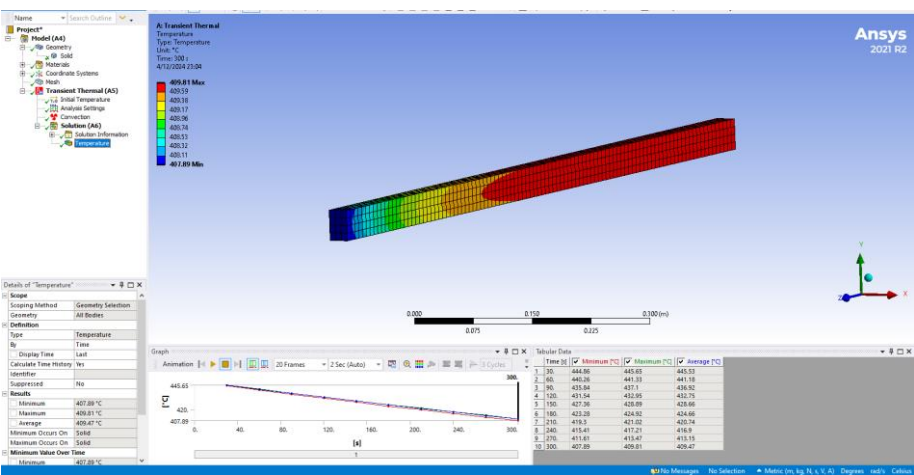
Solución para analizar las temperaturas



Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Figura 89

Barra con gradiente de temperatura



Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Figura 90

Tabla de resultados de temperatura por tiempo

Tabular Data				
	Time [s]	☒ Minimum [°C]	☒ Maximum [°C]	☒ Average [°C]
1	30.	444.86	445.65	445.53
2	60.	440.26	441.33	441.18
3	90.	435.84	437.1	436.92
4	120.	431.54	432.95	432.75
5	150.	427.36	428.89	428.66
6	180.	423.28	424.92	424.66
7	210.	419.3	421.02	420.74
8	240.	415.41	417.21	416.9
9	270.	411.61	413.47	413.15
10	300.	407.89	409.81	409.47

Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

En promedio en general nos da una temperatura de la barra de 409.47 °C luego de 300 segundos.

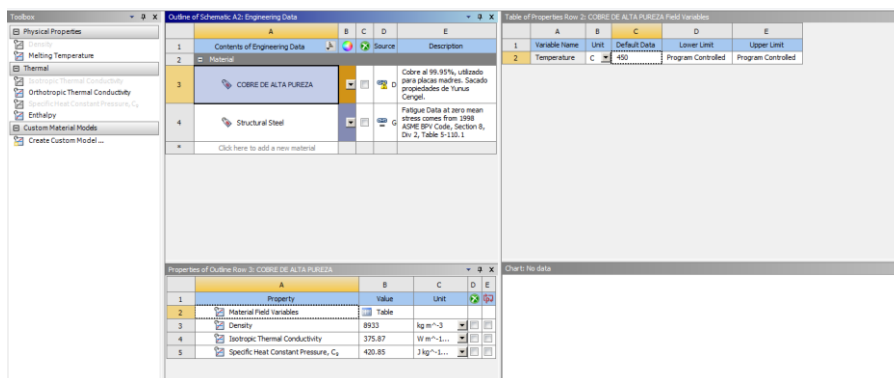
- Segundo tramo de soldadura.

Ahora de la misma manera hallamos la temperatura del cobre luego del segundo pase de mantequillado. El cual en este caso tendrá una longitud de 760.5 mm encapsulado en el aislador térmico. Donde analizamos de la misma manera ya explicada.

Añadimos el material de cobre con sus propiedades.

Figura 91

Selección de material para la barra

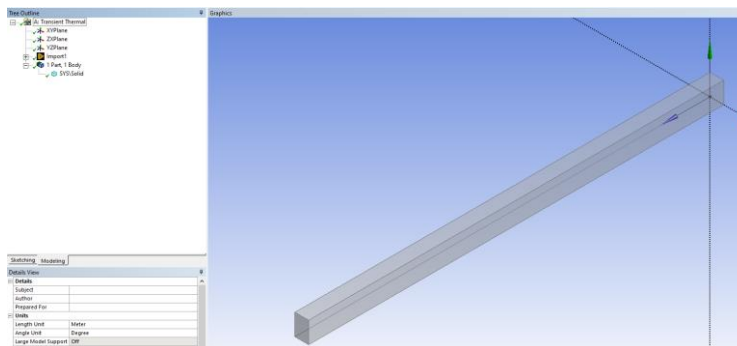


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Creamos la barra de cobre, con las nuevas dimensiones. Longitud de 760.5 mm.

Figura 92

Modelo de barra en ANSYS

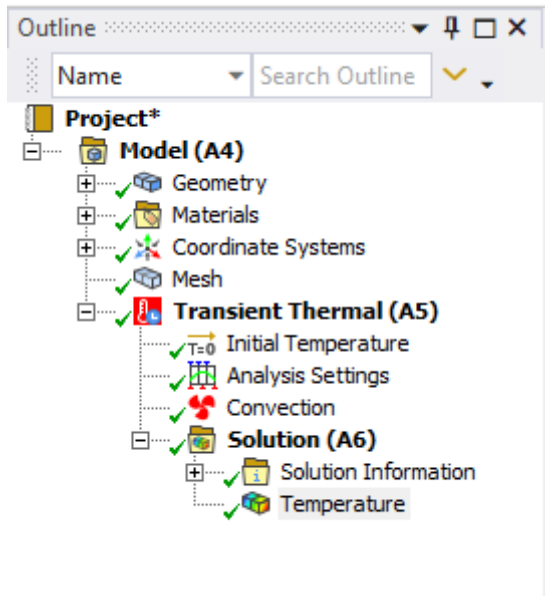


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Empezamos a completar todos los datos de igual manera que el anterior caso.

Figura 93

Panel del proyecto en Transient Thermal

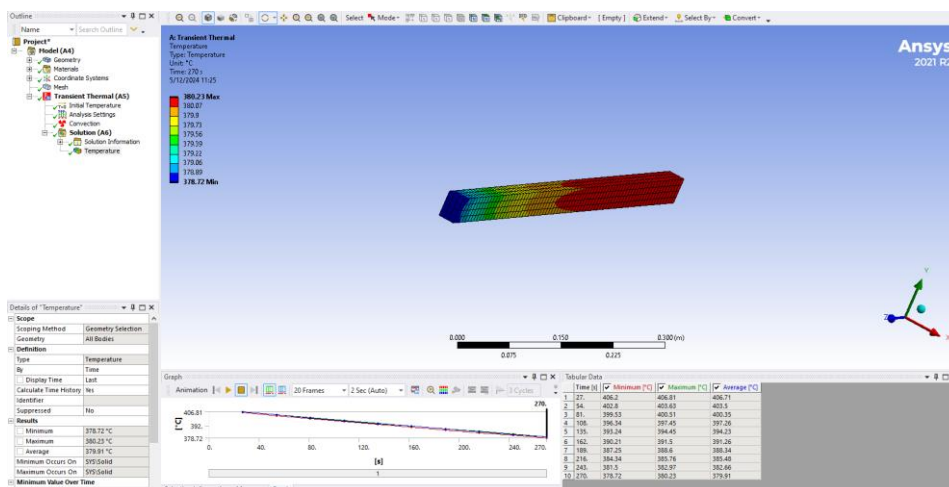


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Lo analizamos y le damos en SOLVE, y obtenemos los resultados deseados, luego de 270 segundos, que es el tiempo en que el que se suelda la barra de cobre el segundo pase de soldadura o mantequillado.

Figura 94

Barra con gradiente de temperatura



Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Figura 95

Tabla de resultados de temperatura por tiempo

Tabular Data				
	Time [s]	☒ Minimum [°C]	☒ Maximum [°C]	☒ Average [°C]
1	27.	406.2	406.81	406.71
2	54.	402.8	403.63	403.5
3	81.	399.53	400.51	400.35
4	108.	396.34	397.45	397.26
5	135.	393.24	394.45	394.23
6	162.	390.21	391.5	391.26
7	189.	387.25	388.6	388.34
8	216.	384.34	385.76	385.48
9	243.	381.5	382.97	382.66
10	270.	378.72	380.23	379.91

Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

En promedio en general nos da una temperatura de la barra de 379.91 °C luego de 270 segundos. Pero en total sería la suma de tiempos, que es 300 segundos + 270 segundos, en este caso ya pasó 570 segundos desde el tiempo inicial en el cual se empezó el soldeo en general.

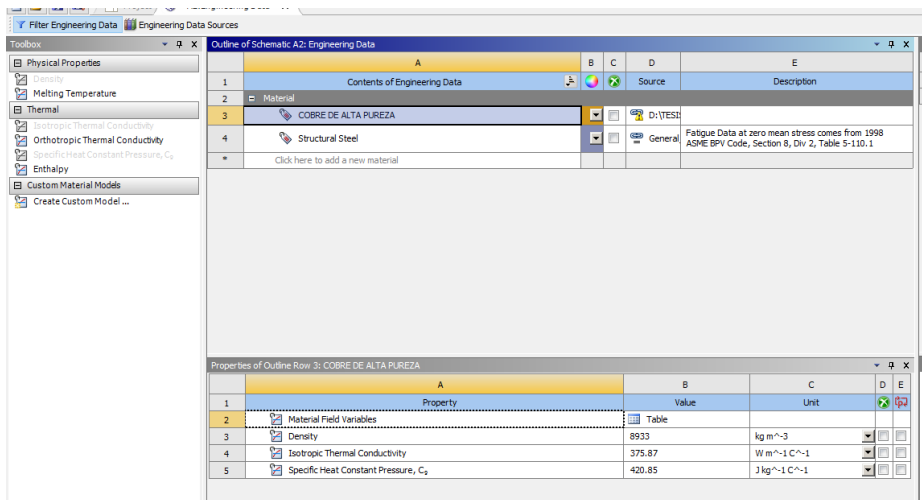
- Tercer tramo de soldadura.

Seguimos de la misma manera hallamos la temperatura del cobre luego del tercer pase de soldadura o mantequillado. El cual en este caso tendrá una longitud de 502.5 mm encapsulado en el aislador térmico. Donde analizamos de la misma manera ya explicada.

Añadimos el material de cobre con sus propiedades.

Figura 96

Selección de material para la barra

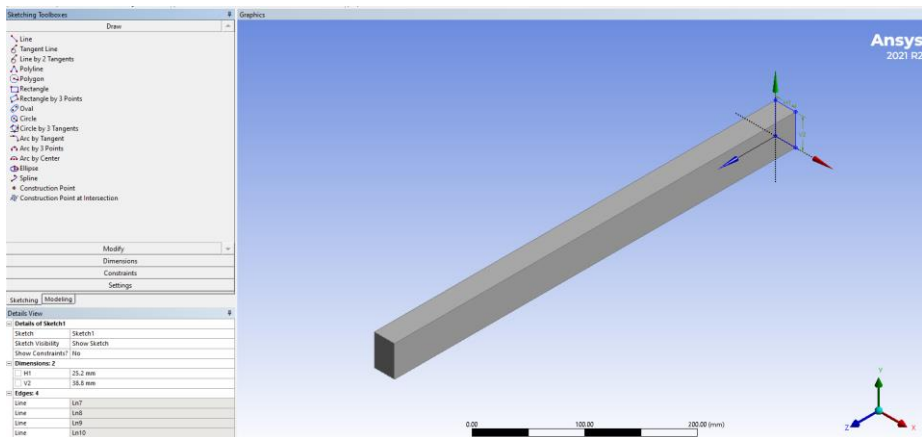


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Creamos la barra de cobre, con las nuevas dimensiones. Longitud de 502.5 mm.

Figura 97

Modelo de barra en ANSYS

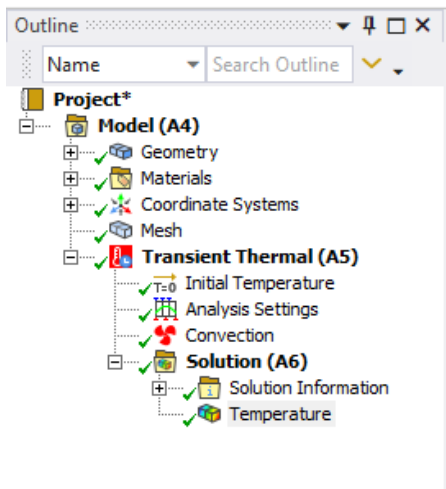


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Empezamos a completar todos los datos de igual manera que el anterior caso.

Figura 98

Panel del proyecto en Transient Thermal

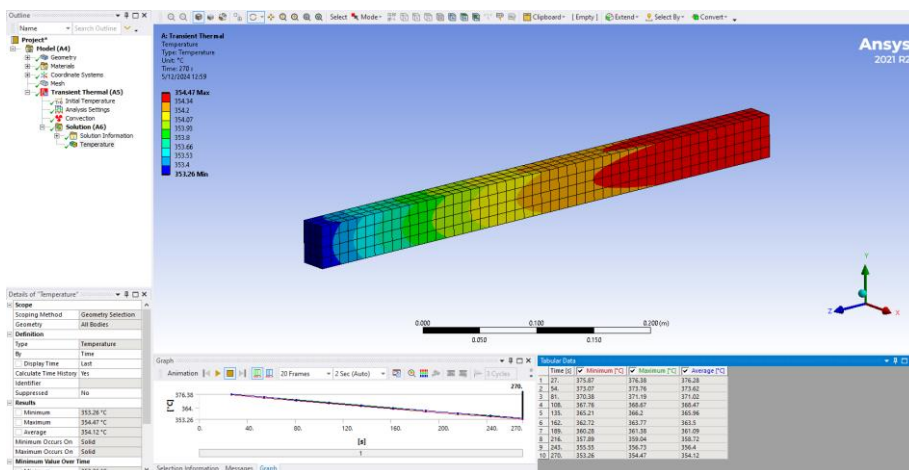


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Lo analizamos y le damos en SOLVE, y obtenemos los resultados deseados, luego de 270 segundos, que es el tiempo en que el que se suelda la barra de cobre el segundo pase de soldadura o mantequillado.

Figura 99

Barra con gradiente de temperatura



Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Figura 100

Tabla de resultados de temperatura por tiempo

Tabular Data				
	Time [s]	☒ Minimum [°C]	☒ Maximum [°C]	☒ Average [°C]
1	27.	375.87	376.38	376.28
2	54.	373.07	373.76	373.62
3	81.	370.38	371.19	371.02
4	108.	367.76	368.67	368.47
5	135.	365.21	366.2	365.96
6	162.	362.72	363.77	363.5
7	189.	360.28	361.38	361.09
8	216.	357.89	359.04	358.72
9	243.	355.55	356.73	356.4
10	270.	353.26	354.47	354.12

Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

En promedio en general nos da una temperatura de la barra de 354.12 °C luego de 270 segundos. Pero en total sería la suma de tiempos, que es 300 segundos (1ra soldadura) + 270 segundos (2da soldadura) + 270 segundos (3ra soldadura), en este caso ya pasó 840 segundos desde el tiempo inicial en el cual se empezó el soldeo en general.

- Cuarto tramo de soldadura.

Para el último tramo de soldadura, tendríamos que liberar totalmente la barra de cobre para poder soldarla o mantequillarlo. En este tramo restante de la barra se encuentra a 354 °C aproximadamente. Donde es apta para poder soldarla, ya que los parámetros para el mantequillado de níquel en la barra de cobre, mínimo a una temperatura de 300 °C.

4.2.2. Simulación del aislador térmico (Paredes del aislador)

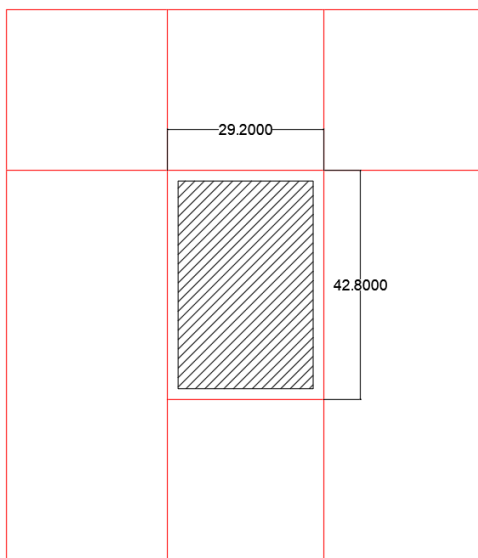
Para este caso en particular lo simularemos con dos programas, uno que es del mismo libro que nos da llamado SST Conduct y también el otro programa es el ANSYS, lo analizaremos como en la resolución de cálculos planteada. Y también analizaremos cada

pared, ya que utilizamos métodos numéricos para esto, además que hacemos de esta manera para comparar los dos programas usados a continuación.

Para este caso en el aislador térmico cerrado, se tiene dos medidas de caras diferentes, la de arriba y abajo que tiene un ancho de 29.2 mm y la de los laterales izquierdo y derecho que tiene un ancho de 42.8 mm.

Figura 101

Dimensiones de paredes internas aislador



Nota. Elaboración propia

Área transversal del aislador y la barra de cobre.

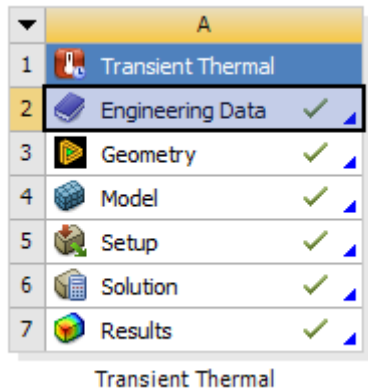
Para analizar mediante el programa ANSYS, analizaremos la última parte de la barra encapsulada, ya que es la más crítica y la que estará más en contacto térmico. Además, en las fórmulas de métodos numéricos de paredes planas, no importa mucho el área de la barra, siempre y cuando que ésta sea la misma área con la que está en contacto con el medio generado entre la barra y el aislador. Teniendo eso en cuenta, procedemos de la misma manera a analizar las paredes del aislador térmico. Entonces tenemos lo siguiente para el análisis del aislador térmico en el TERCER pase de soldadura o mantequillado.

- Paredes laterales del aislador (42.8 mm x 30 mm x 502.5 mm)

Procedemos a crear el proyecto a analizar.

Figura 102

Panel del proyecto Transient Thermal



Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Luego tenemos que poner los datos y propiedades del aislador térmico, en este caso del ladrillo refractario. Estos datos son sacados de Yunus Cengel.

Figura 103

Selección de material de aislador

Outline of Schematic A2: Engineering Data				
	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data		Source	Description
2	Material			
3	LADRILLO REFRACTARIO		D:\TESI	Ladrillo refractario usado en aislador, sacado propiedades de Yunus Cengel.
4	Structural Steel		General	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material			

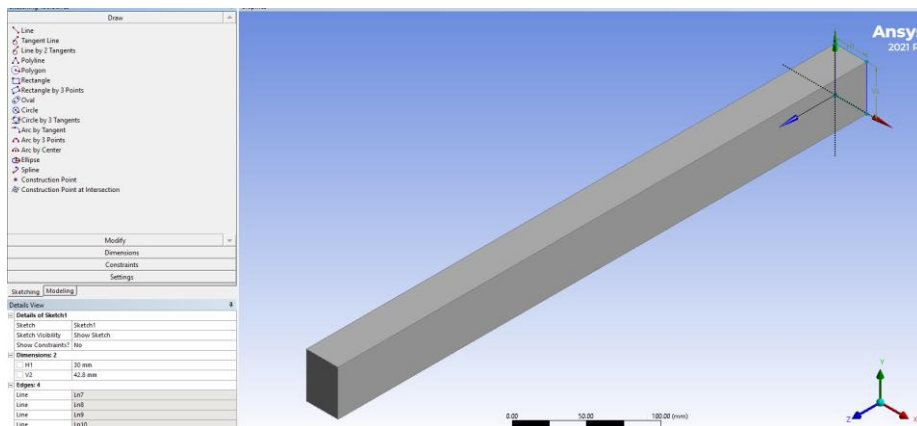
Properties of Outline Row 3: LADRILLO REFRACTARIO				
	A	B	C	D
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	2645	kg m ⁻³	
4	Isotropic Thermal Conductivity	1	W m ⁻¹ C ⁻¹	
5	Specific Heat Constant Pressure, C _p	960	J kg ⁻¹ C ⁻¹	

Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Ahora tenemos que crear la pared lateral del aislador térmico, el cual tendría una longitud de 502.5 mm.

Figura 104

Modelo de pared lateral de aislador en ANSYS



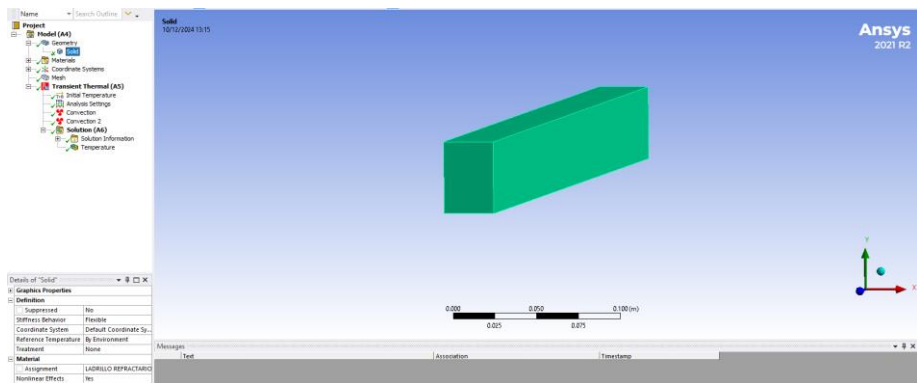
Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Procedemos a poner los datos de la pared lateral.

Empezamos seleccionando el material que usaremos en la pared.

Figura 105

Selección de pared lateral para el análisis

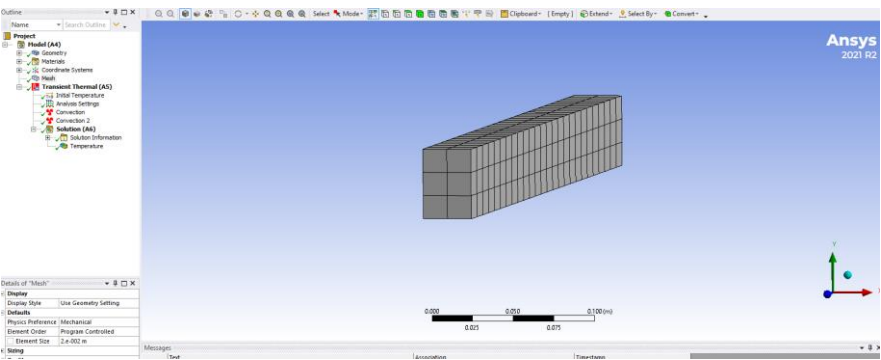


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Ahora hacemos el enmallado de la pared, intentamos que el enmallado sea parecido a lo que analizamos con métodos numéricos en los cálculos anteriormente.

Figura 106

Enmallado de pared lateral

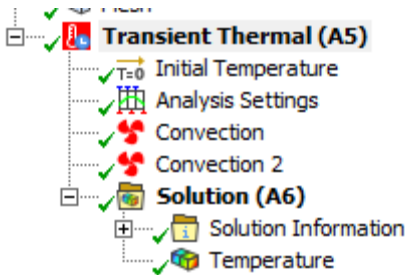


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Lo configuramos de la siguiente manera el sistema de Transient Thermal.

Figura 107

Análisis de convección en el sistema Transient Thermal

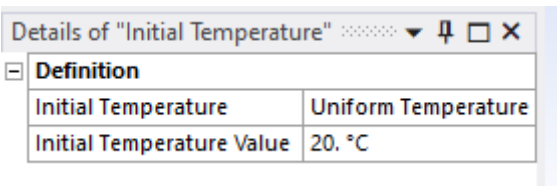


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Empezamos poniendo la temperatura inicial de la pared que es la del medio ambiente exterior, que sería de 20 °C.

Figura 108

Temperatura inicial de la pared lateral aislador



Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

En analysis settings, queremos analizar en la última parte que sería el tercer pase de soldadura, para este caso ya habrían transcurrido aproximadamente 850 segundos.

Figura 109

Parámetros de tiempo para el análisis



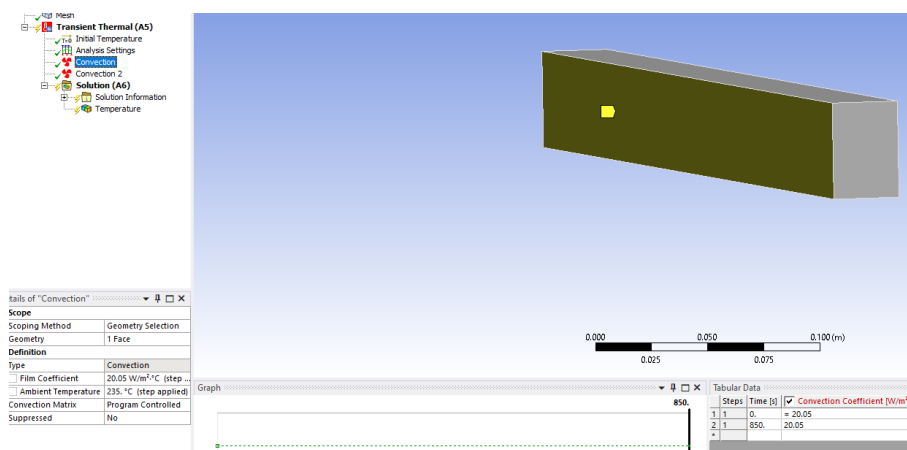
Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Seguimos con las convecciones que se dan, en este análisis térmico.

Para el medio que esta entre la barra de cobre y el aislador térmico.

Figura 110

Selección de pared en contacto con medio interno

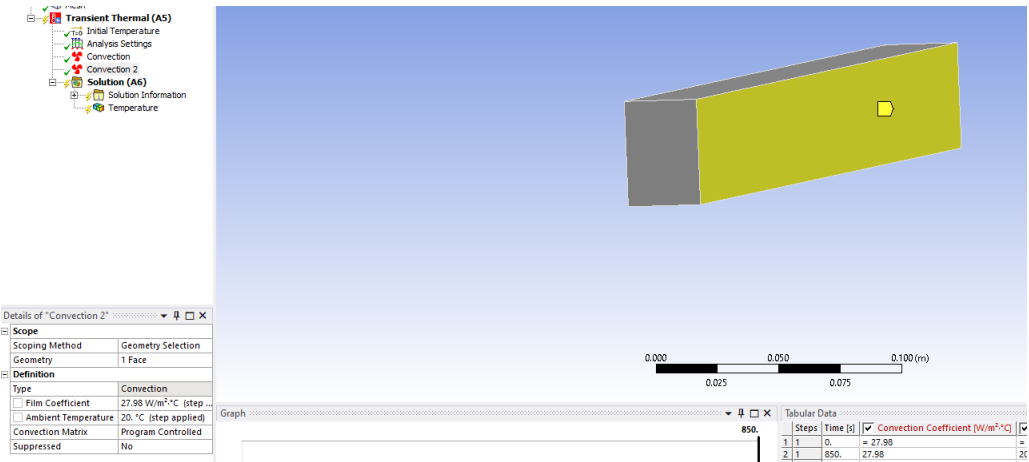


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Para el medio ambiente exterior dentro de taller.

Figura 111

Selección de pared en contacto con medio externo

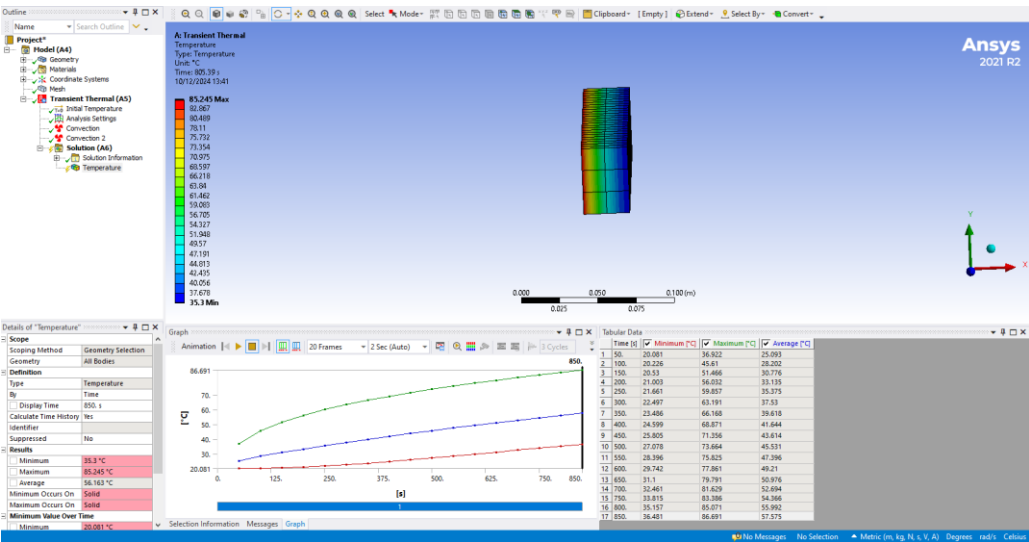


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Le damos en SOLVE, y luego de eso tenemos los siguientes resultados.

Figura 112

Gradiente de temperatura en las paredes laterales.



Nota. (ANSYS Inc, 2022)

Figura 113

Tabla de resultados de temperatura por tiempo

Tabular Data				
	Time [s]	☒ Minimum [°C]	☒ Maximum [°C]	☒ Average [°C]
1	50.	20.081	36.922	25.093
2	100.	20.226	45.61	28.202
3	150.	20.53	51.466	30.776
4	200.	21.003	56.032	33.135
5	250.	21.661	59.857	35.375
6	300.	22.497	63.191	37.53
7	350.	23.486	66.168	39.618
8	400.	24.599	68.871	41.644
9	450.	25.805	71.356	43.614
10	500.	27.078	73.664	45.531
11	550.	28.396	75.825	47.396
12	600.	29.742	77.861	49.21
13	650.	31.1	79.791	50.976
14	700.	32.461	81.629	52.694
15	750.	33.815	83.386	54.366
16	800.	35.157	85.071	55.992
17	850.	36.481	86.691	57.575

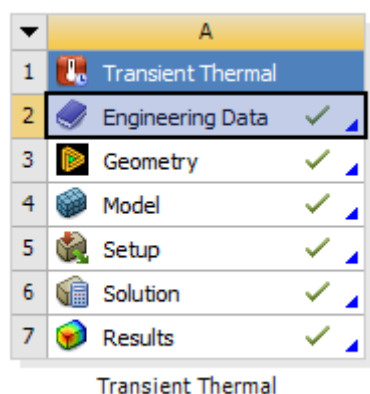
Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

- **Paredes superior e inferior del aislador (30 mm x 29.2 mm x 502.5 mm)**

Procedemos a crear el proyecto a analizar.

Figura 114

Panel de proyecto en Transient Thermal

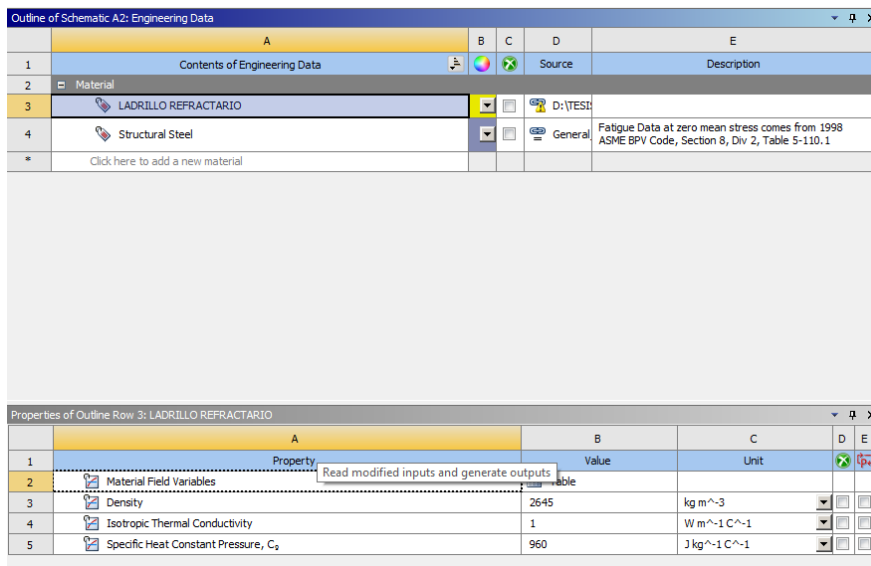


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Luego tenemos que poner los datos y propiedades del aislador térmico, en este caso del ladrillo refractario. Estos datos son sacados de Yunus Cengel.

Figura 115

Selección de material para pared inferior y superior

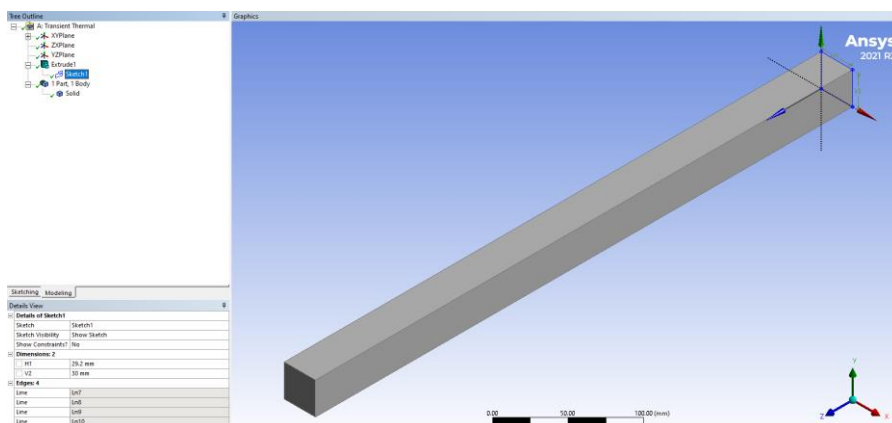


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Ahora tenemos que crear la pared superior e inferior que tienen las mismas dimensiones del aislador térmico, el cual tendría una longitud de 502.5 mm.

Figura 116

Modelo de pared inferior/superior en ANSYS



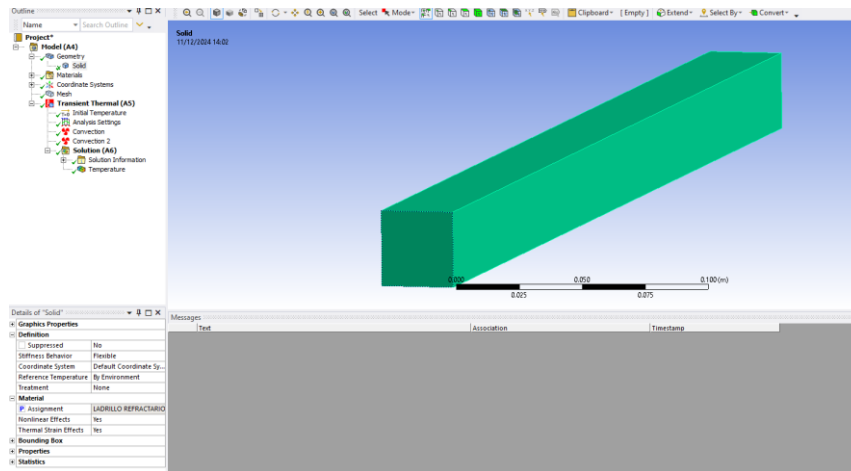
Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Procedemos a poner los datos de la pared superior/inferior.

Empezamos seleccionando el material que usaremos en la pared.

Figura 117

Selección de pared para análisis

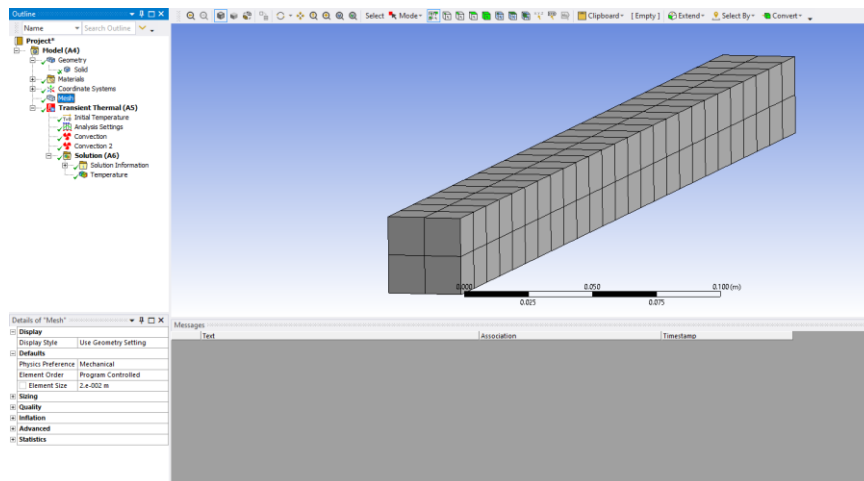


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Ahora hacemos en enmallado de la pared, intentamos que el enmallado sea parecido a lo que analizamos con métodos numéricos en los cálculos anteriormente.

Figura 118

Enmallado de pared inferior/superior

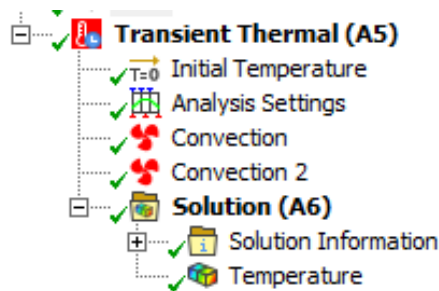


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Lo configuramos de la siguiente manera el sistema de Transient Thermal.

Figura 119

Análisis de convección en el sistema Transient Thermal

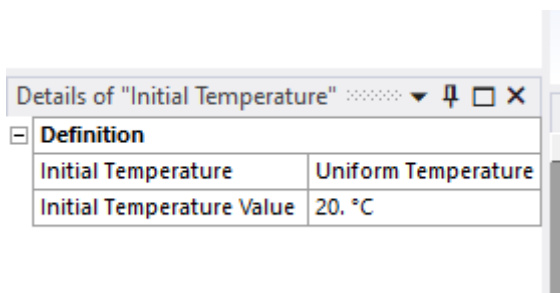


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Empezamos poniendo la temperatura inicial de la pared que es la del medio ambiente exterior, que sería de 20 °C.

Figura 120

Temperatura inicial de pared inferior/superior

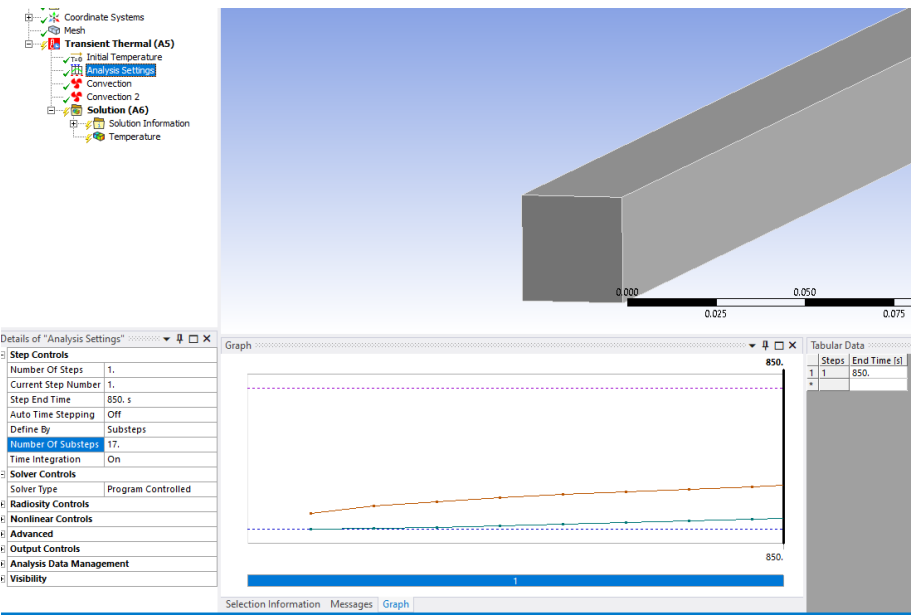


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

En analysis settings, queremos analizar en la última parte que sería el tercer pase de soldadura, para este caso ya habrían transcurrido aproximadamente 850 segundos.

Figura 121

Parámetros de tiempo para el análisis.



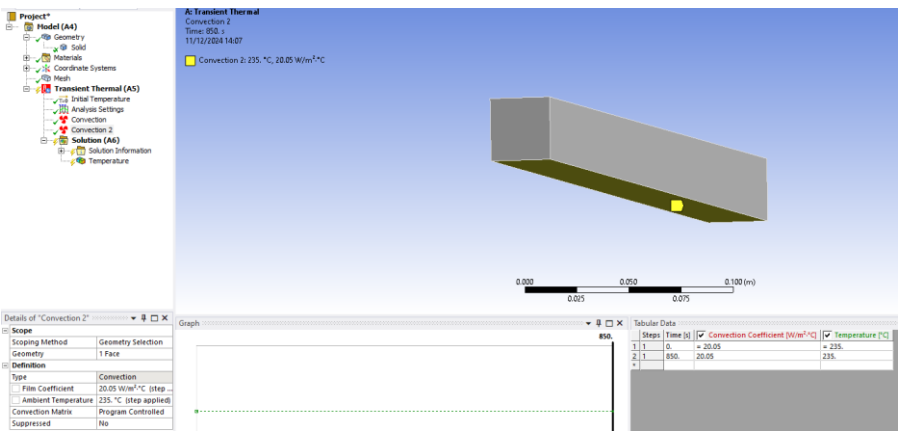
Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Seguimos con las convecciones que se dan, en este análisis térmico.

Para el medio que esta entre la barra de cobre y el aislador térmico.

Figura 122

Selección de pared de contacto con medio interno

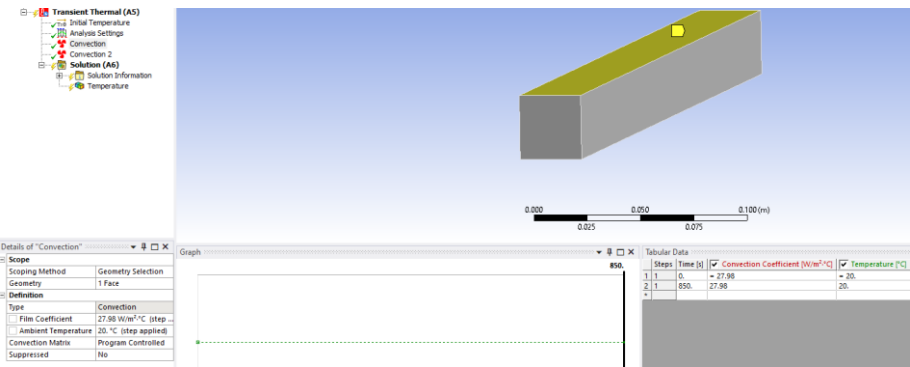


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Para el medio ambiente exterior dentro de taller.

Figura 123

Selección de pared de contacto con medio externo

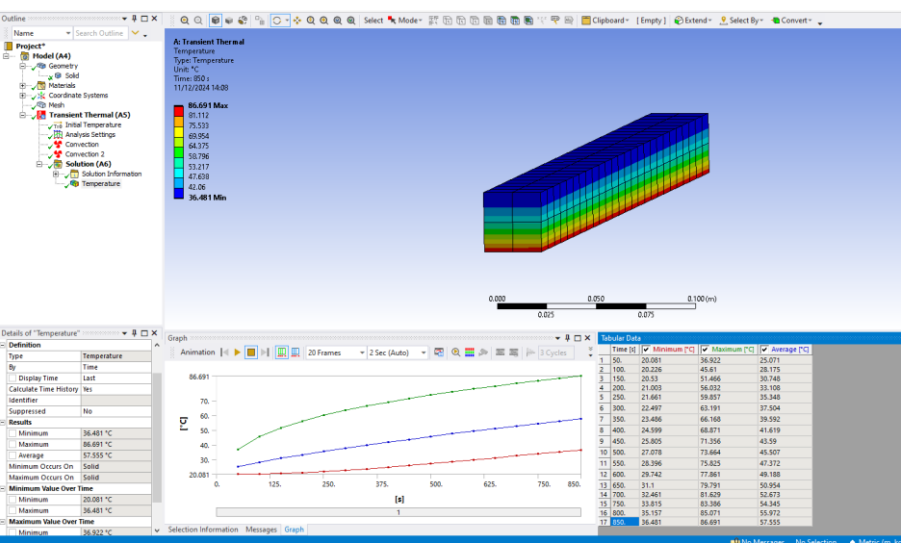


Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Le damos en SOLVE, y luego de eso tenemos los siguientes resultados.

Figura 124

Gradiente de temperatura en las paredes inferior/superior



Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Figura 125

Tabla de resultados de temperatura por tiempo

Tabular Data				
	Time [s]	✓ Minimum [°C]	✓ Maximum [°C]	✓ Average [°C]
1	50.	20.081	36.922	25.071
2	100.	20.226	45.61	28.175
3	150.	20.53	51.466	30.748
4	200.	21.003	56.032	33.108
5	250.	21.661	59.857	35.348
6	300.	22.497	63.191	37.504
7	350.	23.486	66.168	39.592
8	400.	24.599	68.871	41.619
9	450.	25.805	71.356	43.59
10	500.	27.078	73.664	45.507
11	550.	28.396	75.825	47.372
12	600.	29.742	77.861	49.188
13	650.	31.1	79.791	50.954
14	700.	32.461	81.629	52.673
15	750.	33.815	83.386	54.345
16	800.	35.157	85.071	55.972
17	850.	36.481	86.691	57.555

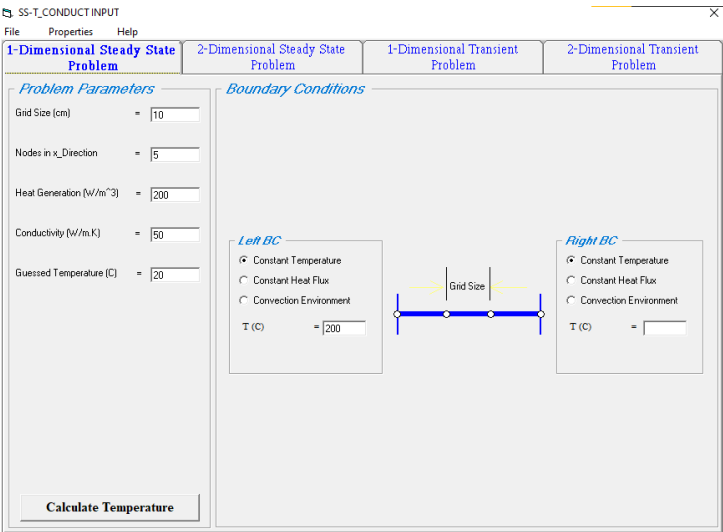
Nota. Tomada de Transient Thermal. Fuente: (ANSYS Inc, 2022)

Del mismo modo procederemos a analizar las paredes en el programa de **SST CONDUCT** el cual nos da el libro de Yunus Cengel, para poder resolverlo con métodos numéricos.

Para este caso en especial, tenemos la siguiente plataforma del programa.

Figura 126

Pantalla principal del programa SST-CONDUCT



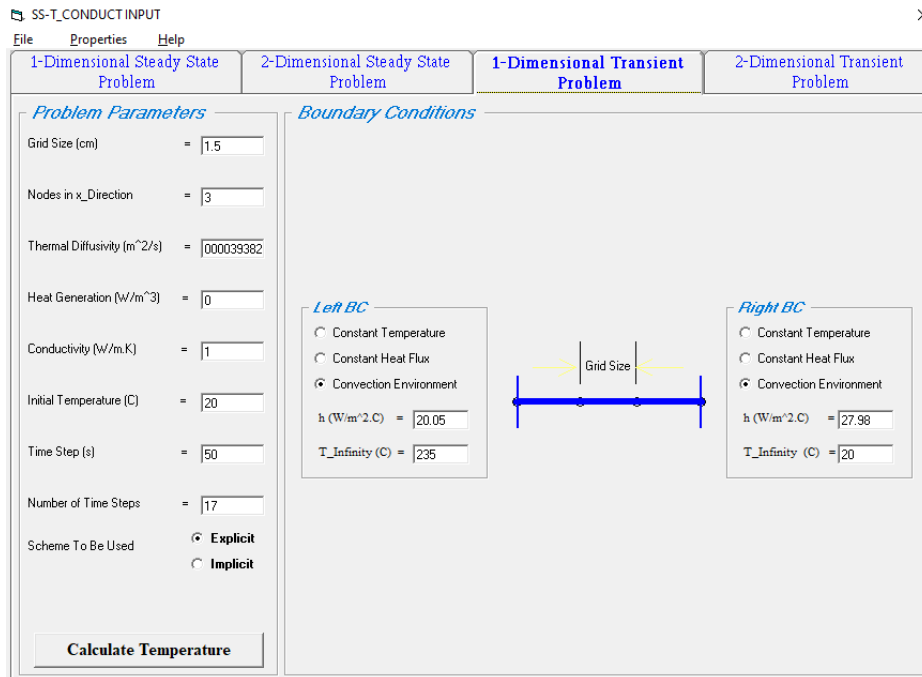
Nota. Tomada de SST Conduct. Fuente: (YUNUS A. ÇENGEL / AFSHIN J.GHAJAR, 2011)

Nosotros elegimos el que es 1 dimensional transient Problem, el cual nos ayudará

para calcular la variación de temperatura con respecto al tiempo.

Figura 127

Panel del programa en Transient Thermal.



Nota. Tomada de SST Conduct. Fuente: (YUNUS A. ÇENGEL / AFSHIN J.GHAJAR, 2011)

Tenemos esa plataforma, y tenemos que rellenar los parámetros del problema.

El Grid Size y el número de nodos, lo rellenamos según la resolución de cálculos que hicimos, básicamente es el enmallado que le daremos, luego la difusividad térmica podemos obtenerlo del ladrillo refractario. La conductividad del material se sacó de las tablas de Yunus Cengel. La temperatura inicial del aislador térmico es de 20 °C, que es igual a la del ambiente en taller. Time Step, es cada cuanto tiempo analizaremos el problema, en nuestro caso lo haremos de dos maneras, uno el cual se parezca a lo hallado al programa ANSYS para compararlo, y otro igual a los cálculos desarrollados. Number of Time Steps, se refiere a cuantas iteraciones haremos.

Figura 128

Parámetros para el análisis

Problem Parameters

Grid Size (cm) = 1.5

Nodes in x_Direction = 3

Thermal Diffusivity (m^2/s) = 0.00039382

Heat Generation (W/m^3) = 0

Conductivity ($\text{W}/\text{m.K}$) = 1

Initial Temperature (C) = 20

Time Step (s) = 50

Number of Time Steps = 17

Scheme To Be Used
☒ Explicit
☐ Implicit

Calculate Temperature

Nota. Tomada de SST Conduct. Fuente: (YUNUS A. ÇENGEL / AFSHIN J.GHAJAR, 2011)

Ahora en la otra parte del programa tenemos las dos caras del aislador, el cual una de ellas está en contacto con el medio que se generó entre la barra de cobre y el aislador, y la otra cara está en contacto directo con el medio ambiente externo.

Rellenamos respectivamente cada dato.

Figura 129

Parámetros de convección en las paredes aislador

Boundary Conditions

Left BC

☐ Constant Temperature
☐ Constant Heat Flux
☒ Convection Environment

h ($\text{W}/\text{m}^2.\text{C}$) = 20.05

T_{Infinity} (C) = 235

Right BC

☐ Constant Temperature
☐ Constant Heat Flux
☒ Convection Environment

h ($\text{W}/\text{m}^2.\text{C}$) = 27.98

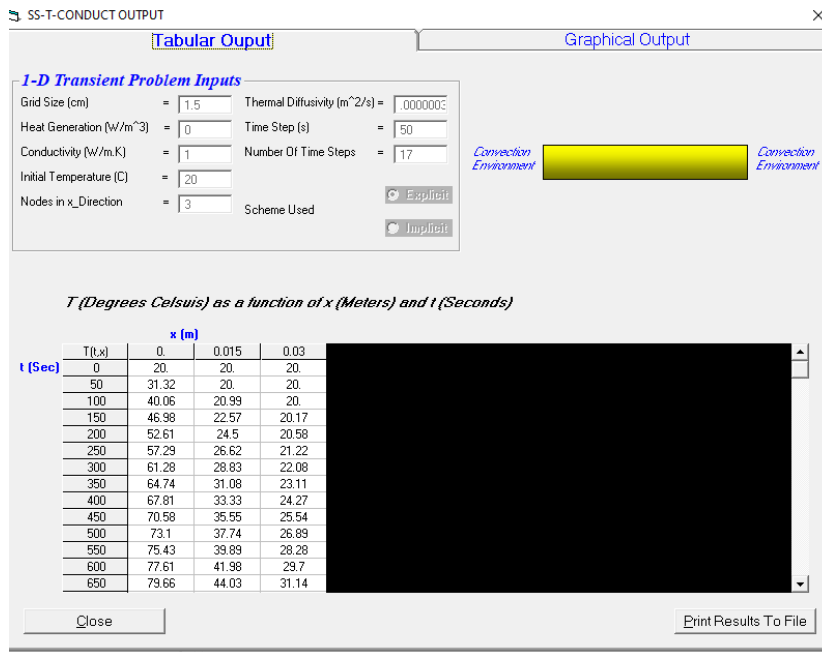
T_{Infinity} (C) = 20

Nota. Tomada de SST Conduct. Fuente: (YUNUS A. ÇENGEL / AFSHIN J.GHAJAR, 2011)

En esta parte ya estaríamos listos para calcular. Y ese sería los resultados obtenidos.

Figura 130

Tabla de resultados del análisis



Nota. Tomada de SST Conduct. Fuente: (YUNUS A. ÇENGEL / AFSHIN J.GHAJAR, 2011)

Ahora tenemos la siguiente tabla con los valores en cada punto analizado.

Figura 131

Tabla de resultados de los tiempos del análisis

T (t,x)	0.	0.015	0.03
0	20.	20.	20.
50	31.32	20.	20.
100	40.06	20.99	20.
150	46.98	22.57	20.17
200	52.61	24.5	20.58
250	57.29	26.62	21.22
300	61.28	28.83	22.08
350	64.74	31.08	23.11
400	67.81	33.33	24.27
450	70.58	35.55	25.54
500	73.1	37.74	26.89
550	75.43	39.89	28.28
600	77.61	41.98	29.7
650	79.66	44.03	31.14
700	81.6	46.02	32.58
750	83.45	47.95	34.01
800	85.21	49.84	35.42
850	86.91	51.67	36.81

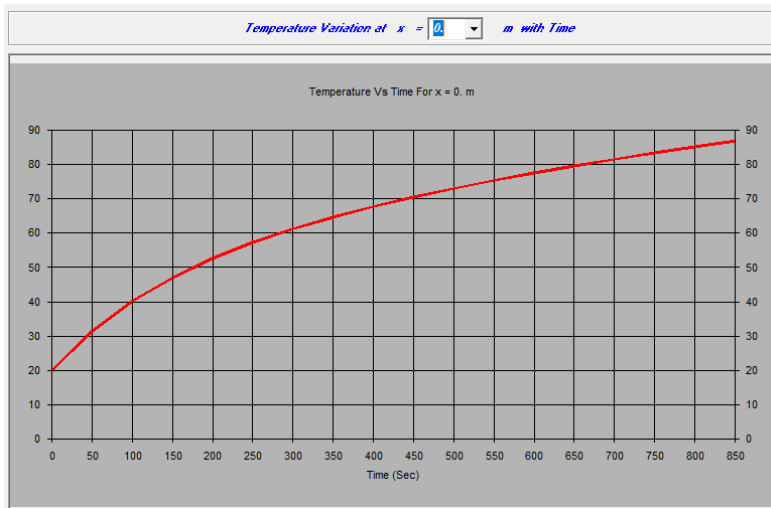
Nota. Tomada de SST Conduct. Fuente: (YUNUS A. ÇENGEL / AFSHIN J.GHAJAR, 2011)

Y ahora también podemos analizarlo en una gráfica.

Para el punto inicial, que sería el que está en contacto con el medio ambiente interno generado entre la barra de cobre y el aislador.

Figura 132

Gráfico de temperatura de la cara interior del aislador

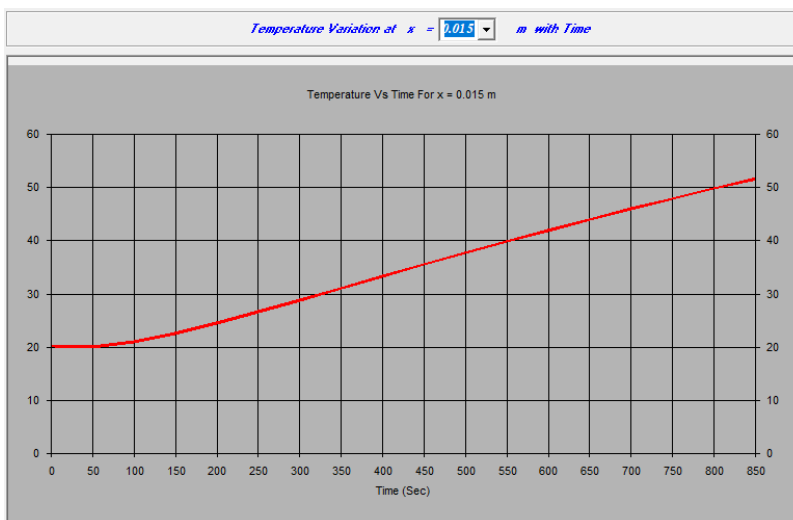


Nota. Tomada de SST Conduct. Fuente: (YUNUS A. ÇENGEL / AFSHIN J.GHAJAR, 2011)

Para en punto que está en el medio del aislador.

Figura 133

Gráfico de temperatura del intermedio del aislador



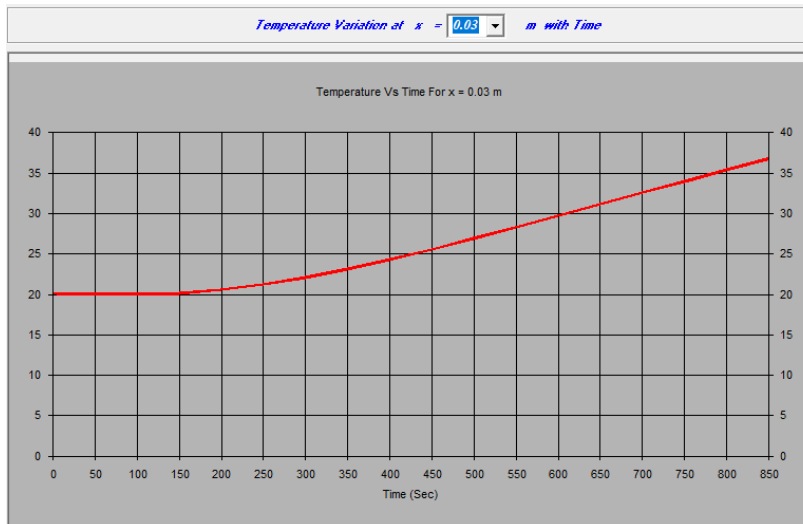
Nota. Tomada de SST Conduct. Fuente: (YUNUS A. ÇENGEL / AFSHIN J.GHAJAR, 2011)

Y para el último punto que sería el que está en la otra parte de la cara de la pared

del aislador, y está en contacto con el medio ambiente externo.

Figura 134

Gráfico de temperatura de la pared exterior del aislador



Nota. Tomada de SST Conduct. Fuente: (YUNUS A. ÇENGEL / AFSHIN J.GHAJAR, 2011)

Ahora para el otro caso, que sería analizarlo para comparar con los resultados hallados en los cálculos. Tenemos que modificar solo los tiempos.

Figura 135

Cambio de tiempo en programa

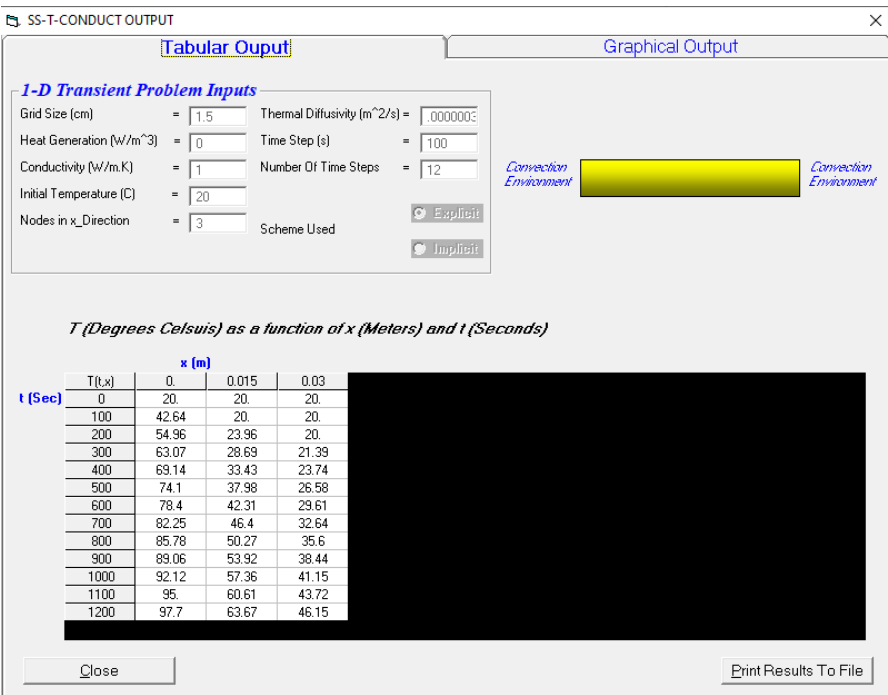
Time Step (s)	=	100
Number of Time Steps	=	12
Scheme To Be Used		☒ Explicit
		☐ Implicit

Nota. Tomada de SST Conduct. Fuente: (YUNUS A. ÇENGEL / AFSHIN J.GHAJAR, 2011)

Y le damos a calcular, nuevamente para poder analizarlo.

Figura 136

Tabla de resultados del análisis



Nota. Tomada de SST Conduct. Fuente: (YUNUS A. ÇENGEL / AFSHIN J.GHAJAR, 2011)

Figura 137

Tabla de resultados de tiempos del análisis

T(t,x)	0.	0.015	0.03
0	20.	20.	20.
100	42.64	20.	20.
200	54.96	23.96	20.
300	63.07	28.69	21.39
400	69.14	33.43	23.74
500	74.1	37.98	26.58
600	78.4	42.31	29.61
700	82.25	46.4	32.64
800	85.78	50.27	35.6
900	89.06	53.92	38.44
1000	92.12	57.36	41.15
1100	95.	60.61	43.72
1200	97.7	63.67	46.15

Nota. Tomada de SST Conduct. Fuente: (YUNUS A. ÇENGEL / AFSHIN J.GHAJAR, 2011)

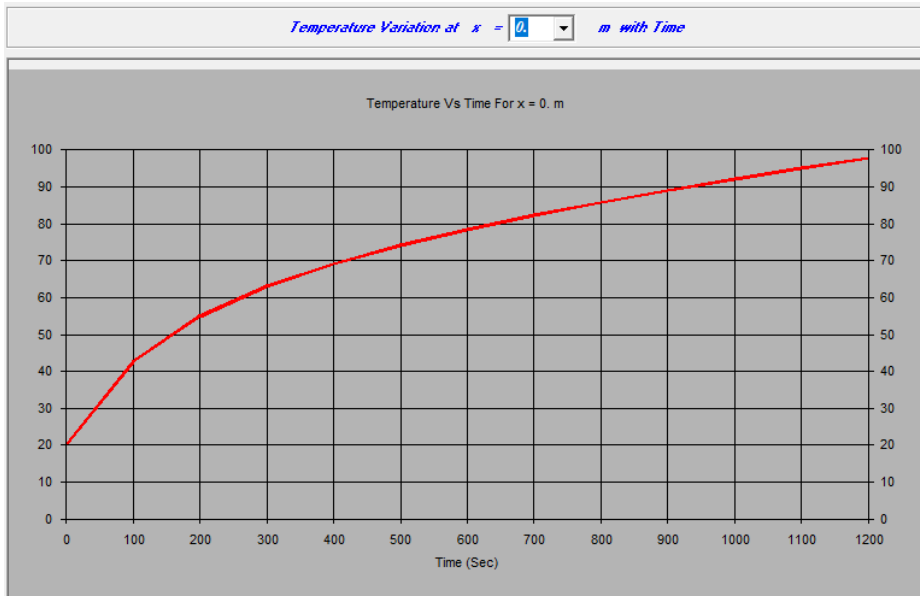
Y ahora también podemos analizarlo en una gráfica.

Para el punto inicial, que sería el que está en contacto con el medio ambiente

interno generado entre la barra de cobre y el aislador.

Figura 138

Grafico de temperatura de la cara interior del aislador

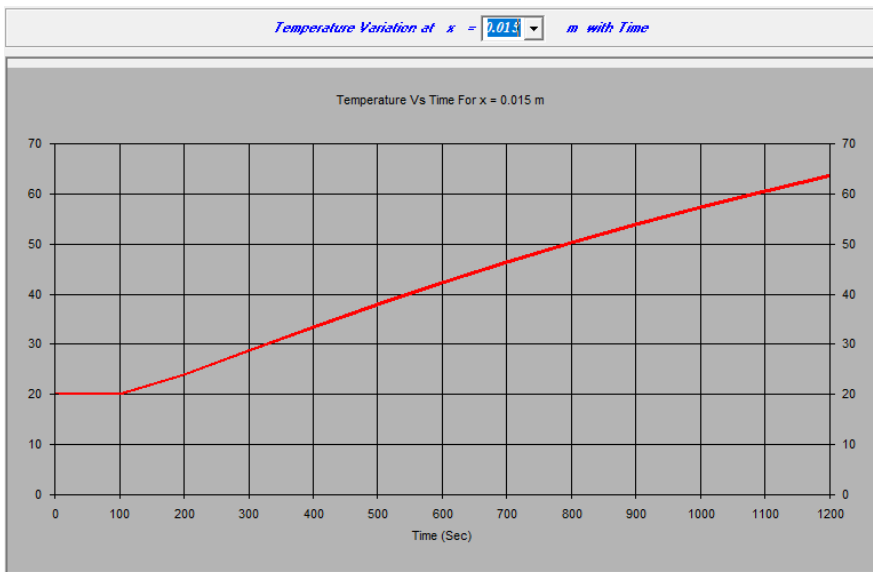


Nota. Tomada de SST Conduct. Fuente: (YUNUS A. ÇENGEL / AFSHIN J.GHAJAR, 2011)

Para en punto que está en el medio del aislador.

Figura 139

Grafico de temperatura del intermedio del aislador

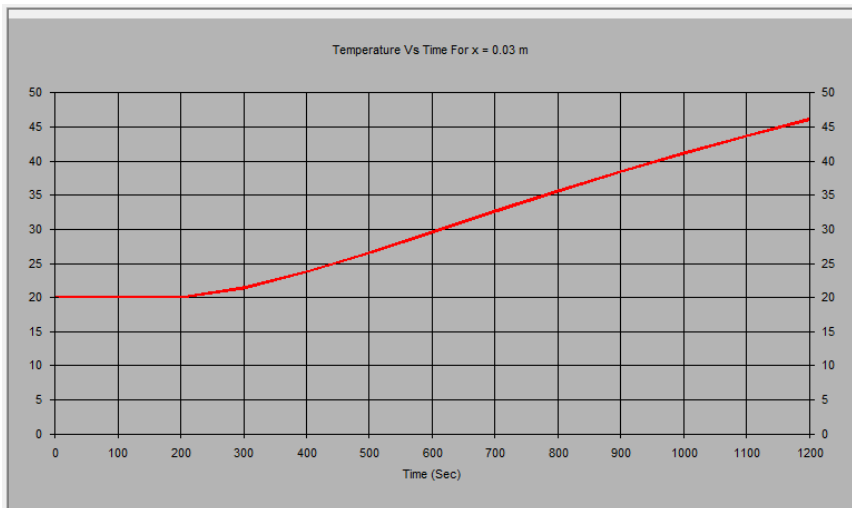


Nota. Tomada de SST Conduct. Fuente: (YUNUS A. ÇENGEL / AFSHIN J.GHAJAR, 2011)

Y para el último punto que sería el que está en la otra parte de la cara de la pared del aislador, y está en contacto con el medio ambiente externo.

Figura 140

Gráfico de temperatura de la pared exterior del aislador



Nota. Tomada de SST Conduct. Fuente: (YUNUS A. ÇENGEL / AFSHIN J.GHAJAR, 2011)

4.3. Recolección de datos de simulación.

Presentamos las tablas recolectadas luego de hacer las simulaciones respectivas.

1. Barra de cobre.

Se tomará los resultados por tramos de soldadura.

a. Primer tramo de soldadura. (L= 1018.5 mm)

Luego de 300 segundos, que es el tiempo que se demora en hacer el primer pase de soldadura tenemos. Debemos considerar que la barra de cobre cumple con el sistema concentrado.

Tabla 14

Temperatura primer pase soldadura

Tiempo	Temperatura promedio de barra cobre.
300 segundos (L= 1018.5 mm)	409.47 °C

Nota. Elaboración propia

- b. Segundo tramo de soldadura. (L= 760.5 mm)

Luego de 270 segundos, que es el tiempo que se demora en hacer el segundo pase de soldadura tenemos. Debemos considerar que la barra de cobre cumple con el sistema concentrado.

Tabla 15

Temperatura en segundo pase soldadura

Tiempo	Temperatura promedio de barra cobre.
570 segundos (L= 760.5 mm)	379.91 °C

Nota. Elaboración propia

- c. Tercer tramo de soldadura. (L= 502.5 mm)

Luego de 270 segundos, que es el tiempo que se demora en hacer el tercer pase de soldadura tenemos. Debemos considerar que la barra de cobre cumple con el sistema concentrado.

Tabla 16

Temperatura tercer pase soldadura

Tiempo	Temperatura promedio de barra cobre.
840 segundos (L= 502.5 mm)	354.12 °C

Nota. Elaboración propia

Ahora presentamos la tabla de los datos recolectamos en los 3 tramos de soldadura hechos.

Tabla 17

Resumen de temperaturas y tiempo soldadura

Pase de soldadura	Longitud barra	Tiempo	Temp. promedio
Cero	1460 mm	0 segundos	450 °C
Primer	1018.5 mm	300 segundos	409.47 °C
Segundo	760.5 mm	570 segundos	379.91 °C

Tercer	502.5 mm	840 segundos	354.12 °C
--------	----------	--------------	-----------

Nota. Elaboración propia

2. Aislador térmico.

a. Programa ANSYS.

Analizaremos las dos dimensiones de las paredes del aislador. Y sacaremos los resultados simulados. Se analizará el último tramo de aislador que es el más crítico y el que estará en todo momento trabajando con la barra de cobre.

1. Paredes laterales del aislador.

Tenemos los siguientes datos.

Tabla 18

Temperatura paredes laterales aislador

Tiempo (segundos)	Distancia 0 mm Cara interior Temperatura °C	Distancia 30 mm Cara exterior Temperatura °C
0	20	20
100	45.61	20.226
200	56.032	21.003
300	63.191	22.497
400	68.871	24.599
500	73.664	27.078
600	77.861	29.742
700	81.629	32.461
800	85.071	35.157

Nota. Elaboración propia

2. Paredes superior e inferior del aislador.

Tenemos los siguientes datos.

Tabla 19

Temperatura paredes sup/inf aislador

Tiempo (segundos)	Distancia 0 mm	Distancia 30 mm
--------------------------	-----------------------	------------------------

	Cara interior Temperatura °C	Cara exterior Temperatura °C
0	20	20
100	45.61	20.226
200	56.032	21.003
300	63.191	22.497
400	68.871	24.599
500	73.664	27.078
600	77.861	29.742
700	81.629	32.461
800	85.071	35.157

Nota. Elaboración propia

b. Programa SST Conduct.

Tenemos los siguientes datos:

Tabla 20

Temperatura de paredes aislador SST Conduct

Tiempo (segundos)	Distancia 0 mm Cara interior Temperatura °C	Distancia 15 mm Cara intermedia Temperatura °C	Distancia 30 mm Cara exterior Temperatura °C
0	20	20	20
100	40.06	20.99	20
200	52.61	24.5	20.58
300	61.28	28.82	22.08
400	67.81	33.33	24.27
500	73.1	37.74	26.89
600	77.61	41.98	29.7
700	81.6	46.02	32.58
800	85.21	49.84	35.42

Nota. Elaboración propia

4.4. Análisis de resultados simulación y cálculos.

Sacaremos las tablas para comparar los resultados, tanto de los cálculos como lo simulado.

- Aislador térmico.

Primero analizaremos los cálculos con la simulación de ANSYS, para este caso analizaremos las paredes interiores y exteriores del aislador térmico.

Tabla 21

Comparación de temperaturas interna y externa

Tiempo (Seg)	Temperatura de paredes aislador térmico					
	Cálculos		Superior e inferior ANSYS		Laterales ANSYS	
	Interna	Externa	Interna	Externa	Interna	Externa
100	42.64	20.00	45.61	20.226	45.61	20.226
200	54.96	20.00	56.032	21.003	56.032	21.003
300	63.07	21.39	63.191	22.497	63.191	22.497
400	69.14	23.74	68.871	24.599	68.871	24.599
500	74.10	26.58	73.664	27.078	73.664	27.078
600	78.40	29.01	77.861	29.742	77.861	29.742
700	82.25	32.64	81.629	32.461	81.629	32.461
800	85.78	35.60	85.071	35.157	85.071	35.157

Nota. Elaboración propia

Ahora analizaremos de la misma manera los cálculos y con el programa SST-CONDUCT, que en este caso nos da las temperaturas internas, externas y medias del ladrillo refractario del aislador térmico.

Tabla 22

Comparación temperaturas en los 3 nodos

Temperatura de paredes aislador térmico (C°)						
Tiempo (Seg)	Cálculos			SST CONDUCT		
	Interna (x=0)	Media (x=0.015)	Externa (x=0.030)	Interna (x=0)	Media (x=0.015)	Externa (x=0.030)
100	42.64	20.00	20.00	40.06	20.99	20
200	54.96	23.96	20.00	52.61	24.5	20.58
300	63.07	28.69	21.39	61.28	28.82	22.08
400	69.14	33.43	23.74	67.81	33.33	24.27
500	74.10	37.98	26.58	73.1	37.74	26.89
600	78.40	42.31	29.01	77.61	41.98	29.7
700	82.25	46.40	32.64	81.6	46.02	32.58
800	85.78	50.27	35.60	85.21	49.84	35.42

Nota. Elaboración propia

Se puede observar y analizar que, en los dos casos, los resultados son similares tanto en los cálculos como en las simulaciones que se hizo.

- Barra de cobre.

Analizaremos los cálculos con la simulación de ANSYS que se hizo.

Tabla 23

Comparación temperaturas de barra de cobre

Pase de soldadura	Longitud barra	Tiempo (segundos)	Temp. Promedio ANSYS	Temp. Promedio Cálculos.
Cero	1460 mm	0	450 °C	450 °C
Primer	1018.5 mm	300	409.47 °C	409,096 °C
Segundo	760.5 mm	570	379.91 °C	378.91 °C
Tercer	502.5 mm	840	354.12 °C	353.84 °C

Nota. Elaboración propia

Se puede observar y analizar que, en los dos casos, los resultados son similares tanto en los cálculos como en las simulaciones que se hizo.

CAPÍTULO V:

INGENIERÍA DE DETALLES Y ENSAMBLAJE

5.1. Planos de fabricación del aislador térmico.

El presente capítulo tiene por listar y describir los planos necesarios para la correcta fabricación del aislador presentado en el documento, los cuales fueron obtenidos luego de realizar los cálculos correspondientes. Dichos planos se encuentran listados y codificados en la tabla. Asimismo, muestran todas las vistas necesarias, secciones y detalles, para el concreto entendimiento del operador al momento del ensamble de los componentes.

Tabla 24

Planos de detalle y explosión

ID	Código	Descripción	Tamaño de hoja
1	AT-01	Plano explosión aislador térmico.	A3
2	AT-02	Plano explosión aislador térmico con barra de cobre.	A3
3	AT-03	Barra de cobre	A3
4	AT-04	Armazón metálico inferior	A3
5	AT-05	Ladrillos base aislador	A3
6	AT-06	Ladrillos laterales aislador	A3
7	AT-07	Ladrillo superior parte A y B	A3
8	AT-08	Armazón metálico superior Parte A	A3
9	AT-09	Armazón metálico superior Parte B	A3

Nota. Elaboración propia

5.2. Especificaciones técnicas del aislador térmico

El aislador térmico, presenta las siguientes medidas.

Tabla 25

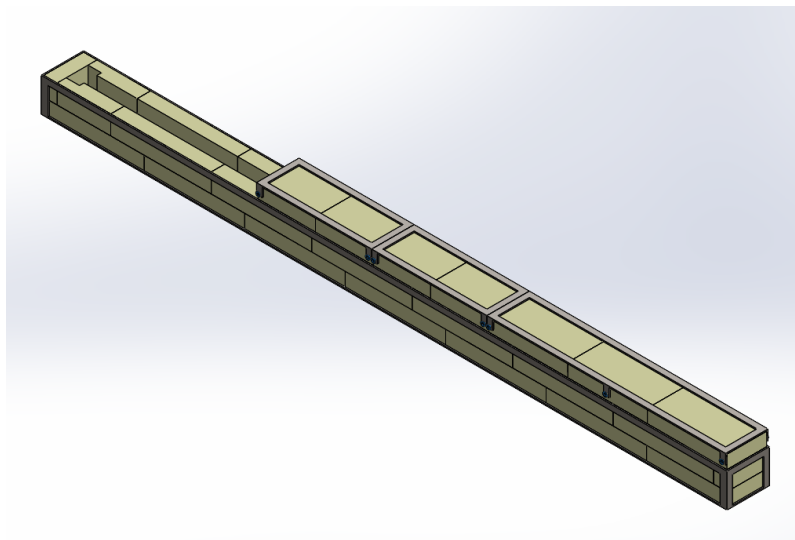
Dimensiones aislador

Descripción	Unidad de medida	Valor
Ancho del aislador	Milímetros (mm)	95.20
Largo del aislador	Milímetros (mm)	1536.00
Altura del aislador	Milímetros (mm)	108.80

Nota. Elaboración propia

Figura 141

Modelo de aislador térmico



Nota. Elaboración propia

A continuación, se presentan las especificaciones técnicas de los elementos usados para la construcción del aislador térmico, que aseguran su funcionamiento óptimo del aislador térmico.

5.2.1. Armazón metálico

Conjunto de piezas unidas que presta estructura o sostén al aislador térmico, sobre todo a los ladrillos refractarios. Se utiliza platina de acero ASTM A36, la cual es una aleación de hierro (mínimo 98%), con contenidos de carbono de máximo 0.29% y otras cantidades mínimas de minerales.

Tabla 26

Especificaciones de platinas de metal

Descripción	Unidad de medida	Valor
Ancho platina	Milímetros (mm)	12.0
Espesor platina	Milímetros (mm)	3.0
Resistencia a la tracción.	Mega pascal (MPa)	400-550
Limite elástico.	Mega pascal (MPa)	250

Densidad	Kilogramo/metro cubico (kg/m3)	7850
----------	-----------------------------------	------

Nota. Elaboración propia

5.2.2. Ladrillos refractarios.

Es un ladrillo que soporta estupendamente el calor, por lo que puede ser sometido a temperaturas extremas de calor. Proporciona excelente aislamiento. Fácil de usar: pueden ser serrados, taladrados y lijados.

Tabla 27

Especificaciones de ladrillo refractario

Descripción	Unidad de medida	Valor
Espesor de ladrillo	Milímetros (mm)	30.0
Densidad	Kilogramo/metro cubico (kg/m3)	2645
Conductividad térmica	W/m. K	1.0
Calor específico	J/kg. K	960
Temperatura máxima de trabajo	Grados Celsius (°C)	1450

Nota. Elaboración propia

5.2.3. Tornillos de concreto.

Un tornillo de concreto es un dispositivo de sujeción que se utiliza para fijar materiales a superficies como concreto, ladrillo o piedra. Proporcionando una sujeción segura y resistente en aplicaciones de construcción y montaje. Que para este caso en específico es fijar los armazones superiores con los ladrillos refractarios.

Tabla 28*Especificaciones de tornillos de concreto*

Descripción	Unidad de medida	Valor
Diámetro	Milímetros (mm)	5.0
Largo del tornillo	Milímetros (mm)	23.0
Material	-	Acero de bajo carbono
Rosca	-	Tipo AB/ auto-roscante.

Nota. Elaboración propia

La rosca tipo AB, es un tipo de rosca auto-roscante, diseñada para ser utilizada en materiales de concreto, ladrillos, entre otros. Estos tornillos no requieren de un orificio pre-perforado en el material en el que se van a insertar. Presenta un ángulo de rosca 60°, lo que proporciona una mayor sujeción y buena penetración.

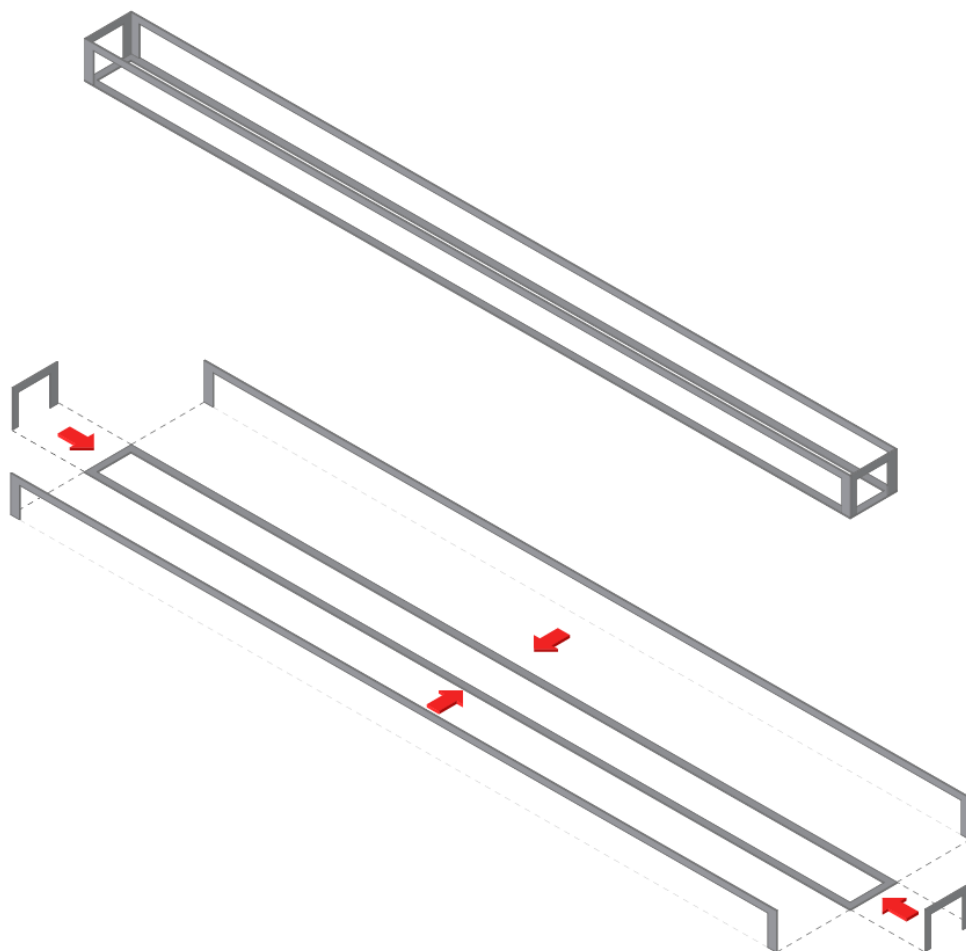
5.3. Orden de ensamblaje

Orden de ensamblaje:

1. Empezaremos cortando las platinas de acero ASTM A36 que tienen medidas de $\frac{1}{2}$ '' x $\frac{1}{8}$ '' de pulgada, luego las uniremos soldándolas dándole la forma del plano, esto servirá como armazón o para darle la forma requerida del aislador.

Figura 142

Armazón metálico inferior de aislador térmico

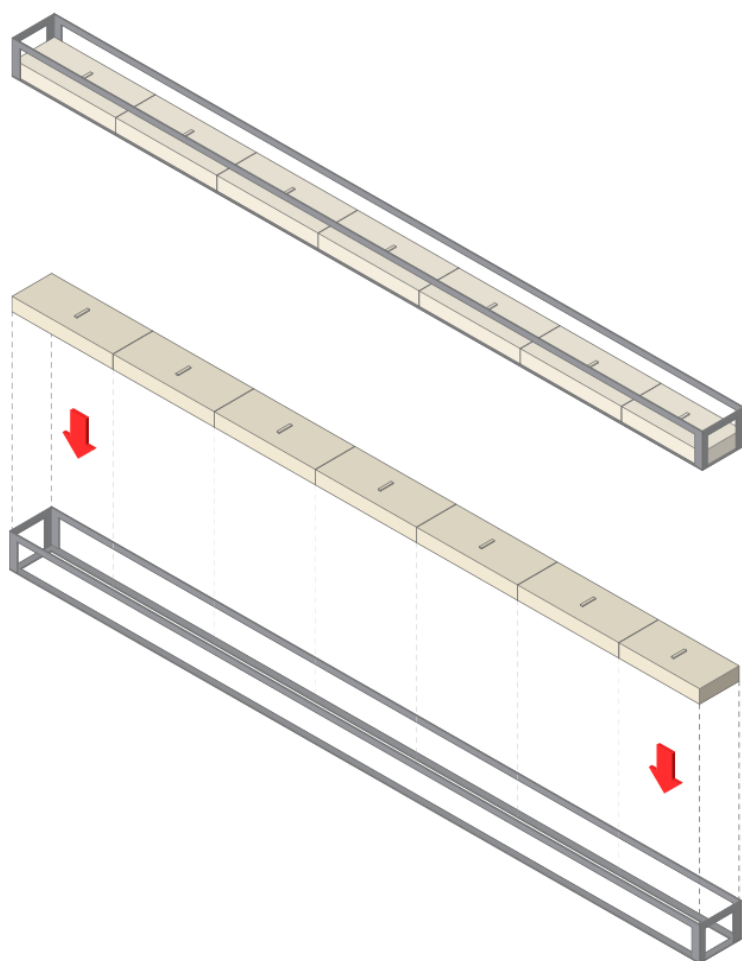


Nota. Elaboración propia

2. Para la base del aislador térmico, tenemos que cortar los ladrillos refractarios a las medidas dadas, luego las ponemos dentro de su armazón y en las caras que van unidas los ladrillos ponemos cemento refractario para unirlos mejor y tengan una adherencia mejor entre los ladrillos.

Figura 143

Ensamblaje de ladrillos refractarios base en armazón

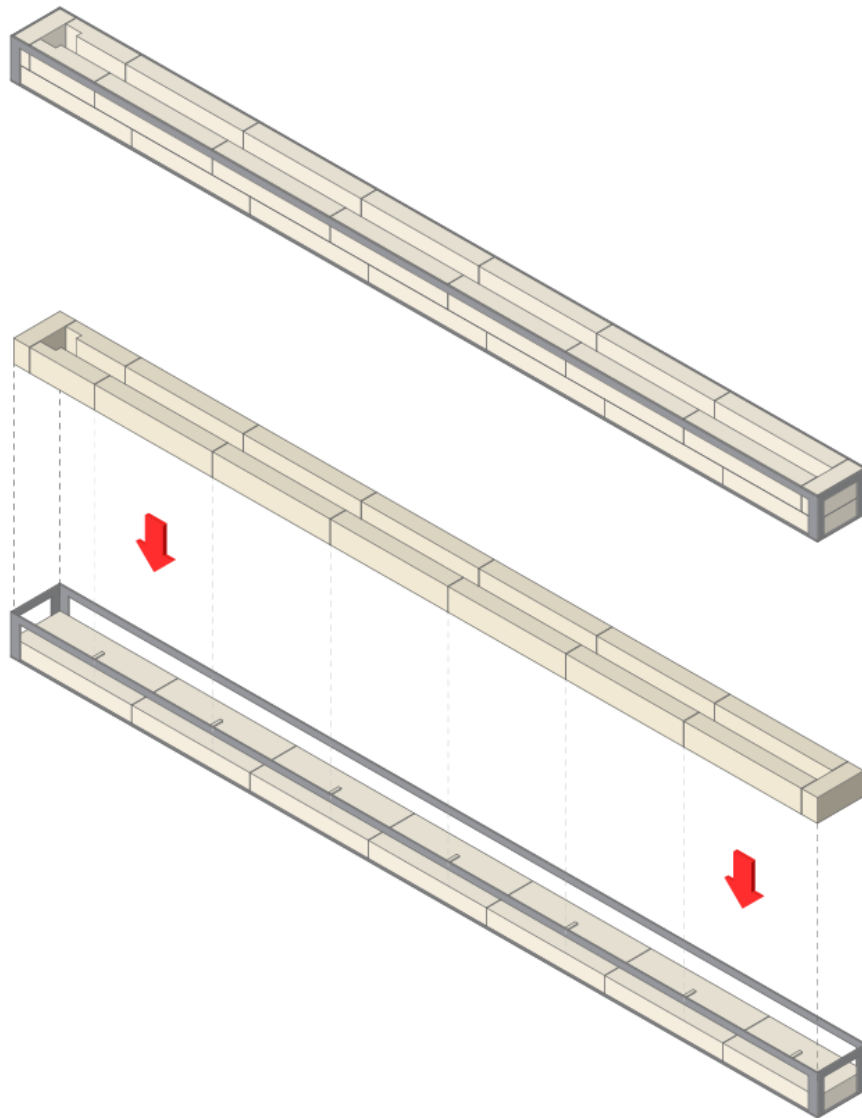


Nota. Elaboración propia

3. Continuamos con los ladrillos laterales, que estos van encima de los ladrillos de la base. De igual manera los cortaremos a las medidas respectivas cada ladrillo, los colaremos dentro del armazón, y siempre las caras de los ladrillos que tengan contacto con otro ladrillo se unirá con cemento refractario.

Figura 144

Ensamblaje de ladrillos refractarios laterales



Nota. Elaboración propia

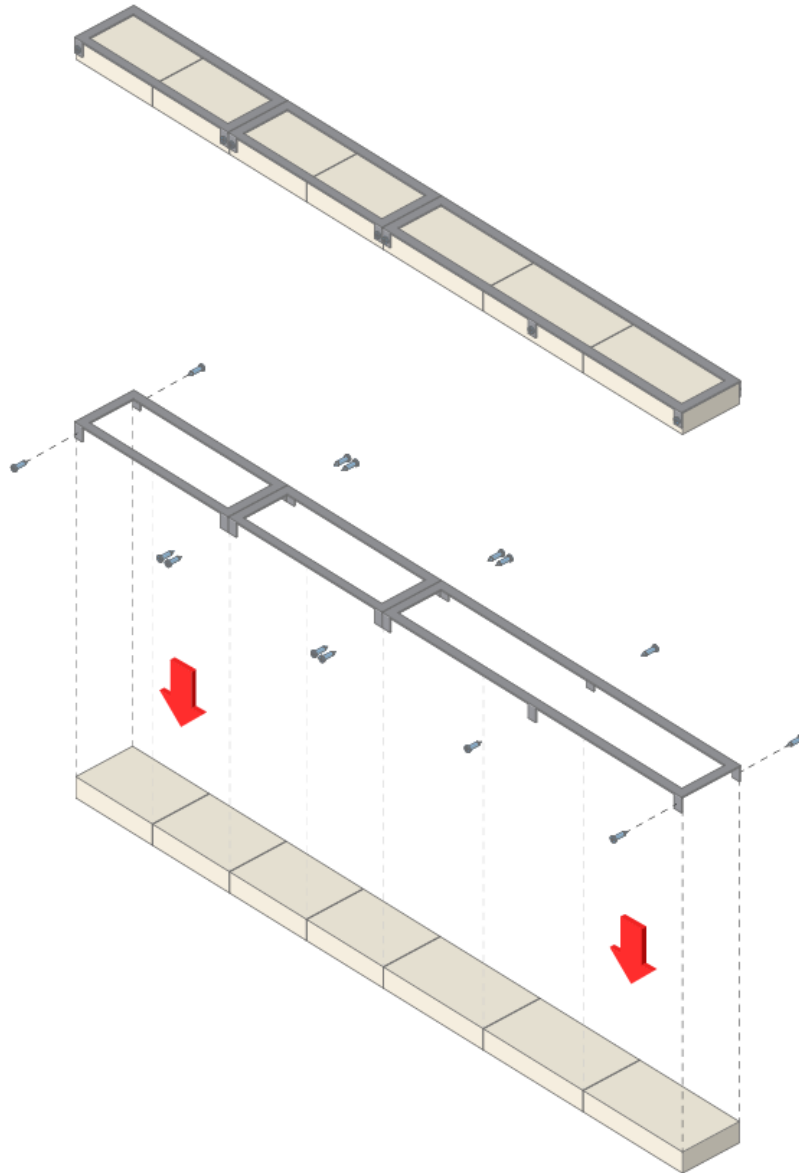
4. Empezaremos ahora el armado de las tapas, las cuales son 3 tapas, 2 de ellas son de la misma dimensión y la otra varia, esto se debe los pases de mantequillado que se tiene que hacer.

Se construirá con las platinas de acero su armazón de cada tapa. Estas tienen que

tener sus orejas con un hueco en el centro, ya estos ladrillos serán los móviles, y se entornillara a los ladrillos para mayor soporte.

Figura 145

Ensamblaje de ladrillos refractarios superiores



Nota. Elaboración propia

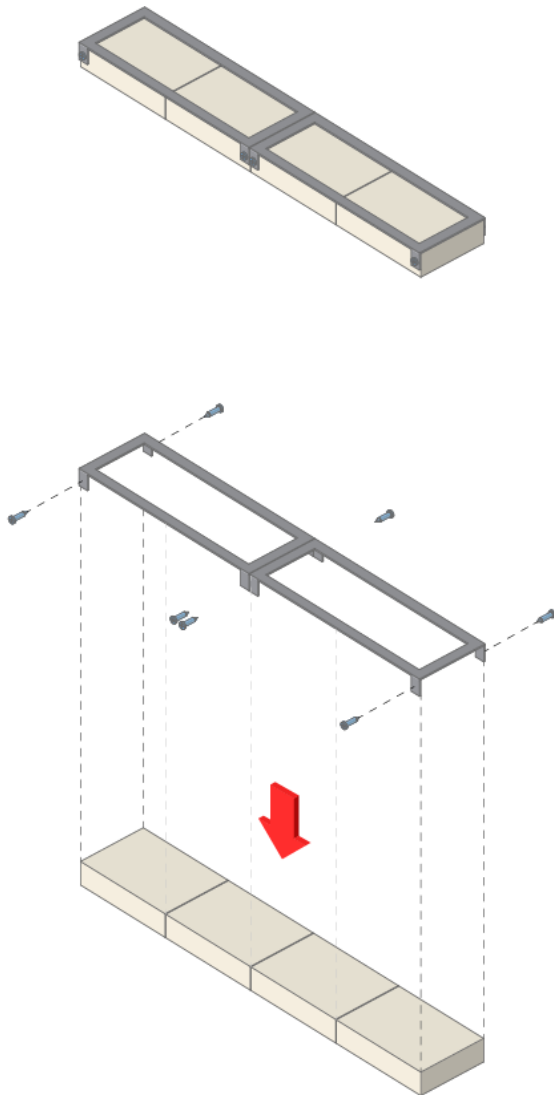
5. En las dos primeras tapas, se usa dos ladrillos refractarios, los cuales se une con cemento refractario.

A los bordes de los ladrillos se perforará hasta cierta distancia en la cual se pondrá tornillos para cemento. Los cuales tiene buen agarre para dar estabilidad

a la unión de los ladrillos.

Figura 146

Ensamblaje de ladrillos refractarios Parte A

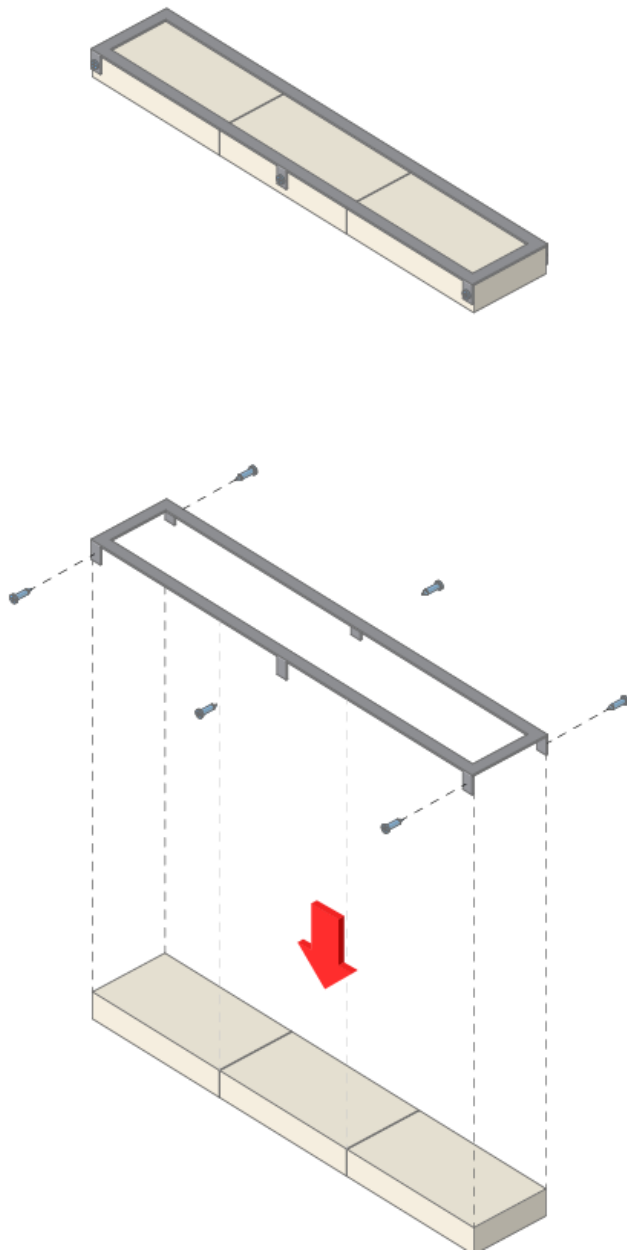


Nota. Elaboración propia

6. En la última tapa, se usa tres ladrillos refractarios de las mismas dimensiones.
Se unen con cemento refractario, y luego se perforan para que este pueda tener buena sujeción con su armazón.

Figura 147

Ensamblaje de ladrillos refractarios Parte B

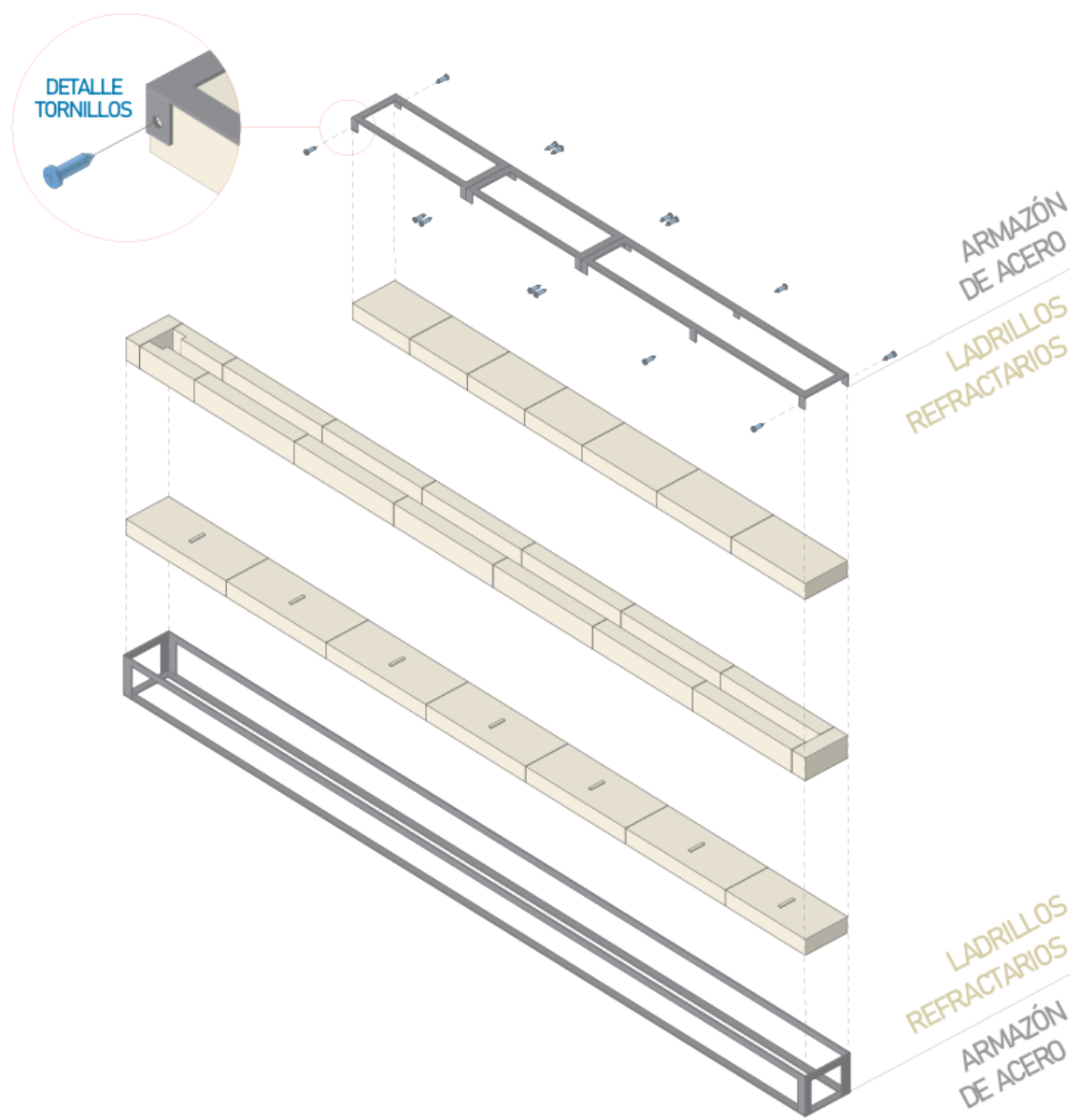


Nota. Elaboración propia

7. Luego todo se ensambla y se deja listo para la disposición de soldeo de las barras de cobre.

Figura 148

Ensamblaje del aislador térmico



Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO VI:

ANALISIS ECONÓMICO Y RENDIMIENTO

6.1. Análisis económico de aislador térmico.

En el siguiente capítulo se lleva a cabo el costo respectivo que se requiere para el diseño y construcción de un aislador térmico, por lo cual definiremos los costos directos, costos de operación, metrado de materiales, metrado de componentes y ensamblaje, costo de inversión y rentabilidad de proyecto.

6.1.1. Costos directos de un aislador

Los costos de un aislador térmico incluyen el precio de los materiales, la mano de obra para su instalación, y los costos de transporte y manipulación.

6.1.1.1. Resumen de los costos directos

Para realizar una descripción de los costos directos, desarrollaremos el metrado de los elementos del aislador térmico, para lo cual se dividirán en 2 principales:

Costo y metrado de materiales.

Metrado de diseño, construcción y ensamblaje.

Dentro del metrado, los costos presentados estarán representados en Nuevos Soles (S/.) y consideraremos unidades, medidas de longitud, entre otros aspectos según sea lo requerido.

Tabla 29

Metrado de aislador térmico

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND.	CANT.	VALOR UNIT. (S/.)	VALOR TOTAL
1	Platina A36 x 6m, ½' x 1/8'	Unid	2	S/ 15.50	S/ 31.00
2	Electrodo facilito 11 1/8' 1 kg.	Unid	1	S/ 14.50	S/ 14.50
3	10 discos de corte de metal.	Unid	1	S/ 24.90	S/ 24.90
4	Ladrillo refractario 1 ¼' Schemin	Unid	21	S/ 8.90	S/ 186.90
5	Cemento refractario 1000 BBQ x 5kg Schemin	Unid	1	S/ 20.90	S/ 20.90

6	Tornillos concretos 3/16'	Unid	4	S/ 9.90	S/	39.60
				TOTAL	S/	317.80

Nota. Elaboración propia

6.1.1.2. Metrado

Consiste en calcular los costos relacionados con la mano de obra para su construcción y el ensamblaje de los componentes.

En la empresa Prodermet, se cuenta con soldadores homologados, los cuales también hacen la función de cortar metales, perforar o ensamblar piezas. Están calificados para realizar diferentes trabajos en el área de metal mecánica-soldadura.

Este metrado considera el tiempo y los recursos humanos necesarios para llevar a cabo el sistema de aislamiento de manera eficiente, utilizando precios referenciales de CAPECO (Cámara Peruana de Construcción) donde tenemos la siguiente tabla salarial para un soldador homologado 6G.

Figura 149

Precios de soldador homologado 6G Capeco

OPERARIO (Soldador Homologado 6G)					
Jornal Básico	S/.			S/.	
Dominical	86.80	x	6	520.80	
B. Movilidad (***)	8.60	x	6	51.60	
B.U.C. 32%	27.78	x	6	166.66	
Bonif. Alta Espec.(25%)	21.70	x	6	130.20	
				956.06	
Descuentos				129.73	
Neto Semanal				826.32	

Nota. Tomada de Capeco. Fuente: (CAPECO, 2024-2025)

Es el neto semanal que tendría un soldador. Para hallar las horas hombre totales, tomamos en consideración que trabaja 8 horas por día, y 6 días a la semana.

El cual nos da un resultado de 17.215 soles por hora.

Tabla 30*Detalles de soldador 6G*

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND.	CANT.	VALOR UNIT. (S/.)	VALOR TOTAL
1	Soldador Prodermet	HH	8	S/ 17.22	S/ 137.72
TOTAL					S/ 137.72

Nota. Elaboración propia

Para llevar a cabo las tareas de soldadura necesarias en el proyecto del aislador térmico, se contrató a un soldador de Prodermet, especializado en unir y asegurar componentes metálicos, El trabajo realizado por este profesional abarcó 8 horas, con un costo unitario de S/. 17.22 por hora. En total, el costo de la mano de obra ascendió a S/. 137.76. Este valor se integra dentro de los costos directos del proyecto, asegurando la calidad y precisión en el ensamblaje de las piezas.

6.1.2. Costo de inversión

Para calcular el costo de inversión se realizó la suma del costo de construcción, ensamblaje y materiales usados. El costo de inversión del aislador térmico, incluyendo su instalación es de S/. 455.52. Para calcular el ganancia neta y rentabilidad, se considerará el costo y tiempo de la producción de 100 barras.

6.1.3. Rentabilidad

Calcularemos la rentabilidad en función de los días que el operario (soldador) trabajara en mantequillar 100 barras de cobre. Teniendo en cuenta que, en este proceso, se culminan 09 barras de cobre diarias sin aislador térmico.

Donde tenemos:

$$\text{Días para soldar} = \frac{\text{Total de barras a soldar}}{\text{Barras soldadas diarias}}$$

$$\text{Días para soldar} = \frac{100}{9}$$

$$\text{Días para soldar} = 11.11 \text{ días.}$$

Por lo tanto, para soldar 100 barras de cobre necesitamos aproximadamente 11 días y 1 horas, u 89 horas laborales.

Por otro lado, realizaremos el cálculo donde hallaremos el tiempo (días para soldar) aplicando el aislador térmico.

En este caso, para soldar toda la barra de cobre, precalentaremos una vez al principio del proceso, y luego podremos soldar de manera continua toda la barra, lo que toma un tiempo de 18.76 minutos; y toma un tiempo de aproximadamente de 6 minutos en el proceso de precalentamiento. Haciendo un total 24.76 minutos en soldar una barra de cobre.

Ahora podemos calcular cuantas barras al día se pueden soldar con el aislador térmico.

$$\text{Cantidad de barras diarias} = \frac{\text{Tiempo de trabajo diario}}{\text{Tiempo de soldeo barras}}$$

$$\text{Cantidad de barras diarias} = \frac{8 \times 60 \text{ minutos}}{27.76 \text{ minutos}}$$

$$\text{Cantidad de barras diarias} = \frac{480 \text{ minutos}}{27.76 \text{ minutos}}$$

$$\text{Cantidad de barras diarias} = 19.386 \text{ barras}$$

Tenemos como resultado 19.386 barras, la cual redondeamos a 19, y consideramos que lo restante sea tiempo muerto en el día de trabajo.

Ahora podemos calcular el tiempo que se demorara el operario (en días) en terminar 100 barras de cobre.

$$\text{Días para soldar} = \frac{\text{Total de barras a soldar}}{\text{Barras soldadas diarias}}$$

$$\text{Días para soldar} = \frac{100}{19}$$

$$\text{Días para soldar} = 5.2632 \text{ días.}$$

Por lo tanto, para soldar 100 barras de cobre necesitamos un tiempo de 5 días y 2 horas, o 42 horas laborales.

Ahora, hallaremos las horas laborales que se reducen. Se tiene:

$$\text{Diferencia de horas} = 89 \text{ horas} - 42 \text{ horas.}$$

$$\text{Diferencia de horas} = 47 \text{ horas laborales}$$

El resultado obtenido de 47 horas laborales representa las horas que ya no se necesitará al soldador para que realice la soldadura de las barras de cobre con el aislador térmico.

De esta forma, podemos hallar cuánto es el valor monetario del trabajo del operario el cual es de un soldador homologado.

Tabla 31

Valor monetario de trabajo soldador

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND.	CANT.	VALOR UNIT.	VALOR
				(S/.)	TOTAL
1	Soldador Prodermet	HH	47	S/ 17.22	S/ 809.11
				TOTAL	S/ 809.11

Nota. Elaboración propia

Para optimizar la producción con el uso del aislador térmico, se contó con los servicios de un soldador de Prodermet durante 47 horas, a un costo por hora de S/. 17.22. En total, este trabajo representó una inversión de S/. 809.11. Este gasto forma parte esencial de los costos directos, reflejando el compromiso con la calidad y la eficiencia en el proceso de ensamblaje.

Tomando en cuenta que el precio de construcción del aislador es de 455.52 Soles.

La ganancia neta es de:

$$Ganancia\ neta = ganancia\ bruta - inversion\ aislador$$

$$Ganancia\ neta = 809.105 - 455.52\ soles$$

$$Ganancia\ neta = 353.585\ soles$$

La ganancia neta se obtiene al restar el costo de inversión del aislador térmico de la ganancia bruta. En este caso, la ganancia bruta es de S/. 809.11, y el costo de inversión es de S/. 455.52.

La rentabilidad se puede expresar de la siguiente manera:

$$Rentabilidad = \frac{Ganancia}{Gasto\ de\ inversion} \times 100$$

$$Rentabilidad = \frac{353.585}{455.52} \times 100$$

$$Rentabilidad = 0.7762 \times 100$$

$$Rentabilidad = 77.622\ \%$$

La rentabilidad obtenida se calculó sobre un periodo de un año, durante el cual se producen 100 placas, mostrando un retorno significativo sobre la inversión realizada en el aislador térmico.

6.2. Análisis de rendimiento de la producción de barras de cobre con aislador térmico.

Para este caso, hallaremos el aumento del rendimiento en el proceso de producción de las barras de cobre, es decir, la optimización que se hizo en este proceso de soldadura.

Se considera que, sin el uso de aislador térmico, se realiza el soldeo de 9 barras de cobre por día. Sin embargo, al emplear el aislador térmico, la producción aumenta a 19 barras por día.

Crecimiento del rendimiento

$$= \frac{(Barras diarias con aislador - barras diarias sin aislador)}{barras diarias sin aislador} \times 100$$

$$Crecimiento del rendimiento = \frac{(19 - 9)}{9} \times 100$$

$$Crecimiento del rendimiento = 111.11 \%$$

Esto significa que el rendimiento aumentó en un 111.11 % en comparación con lo que se lograba anteriormente, lo que equivale a una producción 2.11 veces más rápida de las barras de cobre.

Es decir, la implementación del aislador térmico ha permitido más que duplicar la producción diaria de barras.

CONCLUSIONES

- Se diseñó el aislador térmico utilizando los parámetros de temperatura del mantequillaado en barras cobre que se recopiló de un libro de soldadura y también se tomó los datos de soldadura que la empresa Prodermet maneja, la cual está en el rango de 300 °C a 450 °C, la cual influye directamente en el proceso de soldadura.
- Se realizó el análisis térmico por transferencia de calor en el proceso de soldadura de la barra de cobre con el aislador térmico, teniendo en cuenta las dimensiones de la barra de cobre y la selección del material.

Se analizó las propiedades del material del ladrillo refractario, dando como resultado el más adecuado para la implementación del aislador térmico.

En cuanto al análisis térmico por transferencia de calor, se hizo un análisis profundo de las fórmulas descritas en el libro de Yunus Cengel, donde se utilizó métodos numéricos para el análisis térmico del aislador térmico y la fórmula de enfriamiento de Newton para la barra de cobre. Dando como resultado de un espesor de pared para el aislador térmico de 30 mm que es el más adecuado. Así como también una separación entre aislador y barra de cobre de 2 mm para que se presente solo transferencia de calor por convección. Y para la barra de cobre, se concluye que para el último tramo de soldadura (luego de 840 segundos) en la barra de cobre está con una temperatura de 354 °C, lo cual está por encima de sus parámetros.

- Se realiza el modelamiento de las paredes del aislador térmico en el programa de elementos finitos ANSYS y métodos numéricos SST CONDUCT, estos resultados se comparan con los cálculos que se realizaron previamente, los cuales presentan una variación de 1°C a 3°C entre los resultados hallados.

También se realiza el modelamiento de la barra de cobre en el programa ANSYS, en la cual los resultados son similares al momento de compararlo con los cálculos realizados previamente. Donde luego de terminar el tercer pase de soldadura, luego de 840 segundos se tiene una temperatura final de la barra de cobre de 354.12 °C en el programa ANSYS y 353.84 °C obtenido por cálculos.

- Se ha elaborado planos de explosión y de detalles de todas las partes que conforman el aislador térmico (Ver anexos), con el fin de que se conozca el material y las dimensiones correctas para la fabricación de este mismo en la empresa PRODERMET.

También se realizó un orden de ensamblaje del aislador térmico, como guía para la empresa PRODERMET para la fabricación del aislador térmico para que no tengan alguna complicación al momento del ensamblaje.

- Se realizó un análisis del rendimiento en la producción de barras de cobre una vez instalado el aislador térmico el proceso de mantequillado, donde se puede concluir que el rendimiento aumento en un 111.11 % en comparación de cuando se hacía sin aislador térmico, esto se ve reflejado que por día con aislador térmico se podría hacer 19 barras, con lo que es 10 barras más de lo que hacía sin el aislador térmico.

También se hizo un análisis económico y rentabilidad de la implementación del aislador térmico, el costo total del aislador térmico es de S/. 455.52. donde tomamos como gasto principal la mano de obra del soldador (el tiempo de soldeo). Se concluye que en la implementación del aislador térmico pasaríamos de soldar 100 barras en 11 días a poder soldarlas en 5.26 días. Lo que significa en cuestión de rentabilidad de 77.62 % en la elaboración de 100 barras de cobre, esto en el primer año de implementar el aislador térmico.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la empresa PRODERMET realizar e implementar el aislador térmico para obtener resultados de optimización más precisos del proceso de soldadura de mantequillaado.
- Se recomienda a la universidad implementar un sistema de estudios basados en casos especiales de soldadura, como en este caso de metales disimiles.
- Se recomienda realizar estudios posteriores que abarquen el tema de transferencia de calor transitorio en aisladores térmicos que permitan mejorar el proceso de soldadura en barras de cobre.

BIBLIOGRAFÍA

- ANSYS Inc. (2017). Computational Fluids Dynamics. Obtenido de: <https://www.ansys.com/>.
- Arrechea, M., & Paneso, R. (1998). *Diseño y cálculo de un horno para el proceso de soldaduras blandas*. Santiago de Cali: Universidad Autonoma de Occidente.
- Arrieta, G. (2012). Metodología de optimización numérica multi-objetivo y de simulación numérica de la interacción fluido-estructura del desempeño de un agitador con impulsor PBT variando ángulo, altura y velocidad de rotación utilizando ANSYS CFX, MECHANICAL y DESIGN EXPLOR. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú .
- Astenco. (14 de julio de 2017). *Soldabilidad de aceros disímiles*. Obtenido de <https://institutoasteco.com/asteco/soldabilidad-de-aceros-disimiles/>
- Boltzmann, L. (1879.). *Ley de Stefan-Boltzmann*.
- Borja Suarez, M. (2016). *Metodologia de la Investigacion Cientifica para Ingenieros*. Chiclayo, Lambayeque, Peru. Recuperado el 18 de Marzo de 2022, de <https://1library.co/document/y90kr2wy-metodologia-de-la-investigacion-para-ingenieros.html>
- Bustamente Ortega, C. I. (2012). *Estudio electroquímico de la formación de películas de circonia y nanotubos de circonia*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Coeuret, F. (1992). *Introducción a la Ingeniería Electroquímica*. España: Editorial Reverté.
- Coldeco, N. (2016). *Reposición de electrodos catódicos permanentes utilizando manipulador robótico*. . Obtenido de <https://www.codelco.com/flipbook/innovacion/codelcodigital4/b11s1.pdf>
- García, N. (2009). Simulación de un proceso de embutición mediante ANSYS LS-DYNA. Madrid, España: Universidad Carlos III de Madrid,.

- GHAJAR, A. J. (2011). Programa SS-T-CONDUCT Input. *Transferencia de calor y masa*. Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANAEDITORES, S.A.
- GHAJAR, Y. A. (19 de Mayo de 2011). *Transferencia de calor y masa*. Mexico, Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANAEDITORES, S.A. Obtenido de <https://pavisva.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/01/transferencia-de-calor-y-masa-yunus-cengel.pdf>
- Hernández, F. y. (2010). *Metodología De La Investigación*. España: McGraw-Hill Interamericana de España S.L.; 5a edición (23 Mayo 2014).
- Ibero. (s.f.). *Reacciones Redox*. Obtenido de <https://www.google.com/search?q=celda+de+electrolisis+de+cobre&oq=celda+de+electrolisis+de+cobre&aqs=chrome..69i57j33i160l2j33i22i29i30i625.5874j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- Industria. (2023). *¿Qué es reacción anódica?* Obtenido de <https://industriapedia.com/que-es-reaccion-anodica/>
- Industria. (2023). *¿Qué es reacción catódica?* Obtenido de <https://industriapedia.com/que-es-reaccion-catodica/>
- Industrial, I. O. (s.f.). *Conveccion natural y forzada*. Obtenido de https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/Tema%206_IT_IOI_CV.pdf
- Ingelibre. (22 de Enero de 2014). Interpretación de los diagramas de fase: sistemas isomórficos binarios. *Interpretación de los diagramas de fase: sistemas isomórficos binarios*. Obtenido de <https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/01/22/interpretacion-de-los-diagramas-de-fase-sistemas-isomorficos-binarios/>
- Insunza, J. (2020). *Mecanismos de Transferencia de Calor*. Obtenido de

<https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/34475/1/Mecanismos%20de%20transmisi%C3%B3n%20de%20calor%20%28CONDUCCION%2C%20CONVECCION%2C%20RADIACION%29.pdf>

La Paloma Compañía de Metales S.A. de C.V. (27 de Agosto de 2024). Cobre. *Cobre*.
Obtenido de https://lapaloma.com.mx/lapaloma_metales/cobre.html

Larry, J. (2016). *Manual de soldadura*. Paraninfo Cengage Learning .

Lary. (2014). *Proceso TIG*. Obtenido de
https://www.empresaslary.com/catalogos/PROCESO_TIG.pdf

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2023). Ni (Níquel y compuestos). Gobierno de España. Obtenido de <https://prtr-es.es/Ni-Niquel-y-compuestos,15609,11,2007.html>

Monrroy, E. (2016). *Diseño De Una Fragua A Gas Para Forja Con Fines Didáctico*. El Salvador : Universidad De El Salvador .

Nordberg, G. (2000). Metales: propiedades químicas y toxicidad. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Obtenido de
<https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+63.+Metales+propiedades+qu%C3%ADmicas+y+toxicidad>

Ramos, R. (2018). *Estudio de la soldabilidad de la unión disimilar de un cobre con 5% de Zn con acero estructural Astm A36*. . Lima: Pontificia Universidad Católica Del Perú.

Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. (2013). *Física*.

Robert, H. (2015). *Soldabilidad De Materiales Disimiles*. Obtenido de
<http://soldargen.blogspot.com/2015/07/soldabilidad-de-materiales-disimiles.html#:~:text=Consideramos%20como%20materiales%20dis%C3%ADmiles,ferr%C3%ADtico%20con%20un%20acero%20austen%C3%ADtico>.

- RUA. (2020). Mecanismos de Transferencia de Calor. Obtenido de <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/34475/1/Mecanismos%20de%20transmisi%C3%B3n%20de%20calor%20%28CONDUCCION%2C%20CONVECCION%2C%20RADIACION%29.pdf>
- Schemin, K. (2022). *Aislante térmico para horno*. Obtenido de <https://scheminperu.com/blog/aislante-termico-para-hornos-que-material-se-usa-para-aislar-el-calor/> Schemin
- Senamhi. (Octubre de 2022). Monitoreos y umbrales de temperatura del aire en Lima. *Monitoreos y umbrales de temperatura del aire en Lima*. Obtenido de https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/2422/Monitoreo-umbrales-de-temperatura-en-Lima-03-nov_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Socolovsky, L. (2016). *El sistema Fe-Cu*. Obtenido de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2210/I_-_El_sistema_Fe-Cu.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- UCO.es. (2007). *Cinética y Electroquímica*. Obtenido de <http://www.uco.es/dptos/quimica-fisica/quimica-fisica/id36.htm#:~:text=La%20Cin%C3%A9tica%20estudia%20los%20factores,el%20mecanismo%20a%20nivel%20microsc%C3%B3pico.>
- UCUENCA. (12 de marzo de 2021). *La Termodinámica y sus principios*. Obtenido de <https://www.ucuenca.edu.ec/component/content/article/275-espanol/investigacion/blog-de-ciencia/ano-2021/marzo-2021/1932-termodinamica#:~:text=Im%C3%A1genes%3A%20Thermodynamics%20%2D%20wikimedia-,La%20termodin%C3%A1mica%20es%20la%20ciencia%20de%20la%20ener>
- Udima, J. (2017). *Diagramas De Fase Ingeniería De Materiales*. Obtenido de

<https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/Manual%20Tema%208%20Diagramas%20de%20fase%20FORMATO2.pdf>

Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo. (Noviembre de 2014). Dilatacion termica.

Dilatacion *termica.* Obtenido de
<https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/16712/LECT144.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Universidad de Sevilla. (9 de mayo de 2017). *Densidad e intensidad de corriente (GIE)*.

Obtenido de [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Densidad_e_intensidad_de_corriente_\(GIE\)#:~:text=La%20densidad%20de%20corriente%20es%20una%20medida%20adecuada%20de%20lo,dela%20movimiento%20de%20las%20cargas.](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Densidad_e_intensidad_de_corriente_(GIE)#:~:text=La%20densidad%20de%20corriente%20es%20una%20medida%20adecuada%20de%20lo,dela%20movimiento%20de%20las%20cargas.)

Urbina, C. (2008). *Evaluación catódica de aditivos tensoactivos en el proceso de electroobtención de cobre*. Santiago de Chile: Universidad de Santiago de Chile.

Vega , C. (Julio de 2004). Soldeo Entre Materiales Disimilares. Obtenido de <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-cesar-vallejo/matematica-i/metalurgia-de-la-soldadura-cesol/60529122>

Wandurraga, M., & Nieto, J. (2016). *Diseño y construcción de un prototipo de horno para la realización del proceso de stir casting con aleaciones de aluminio*. . Bogotá, Colombia : Universidad Libre de Colombia .

Wilhelm, W. (1890). *Ley de desplazamiento de Wien*.

Yunus, A., & Cengel, P. (2007). *Transferencia de calor y masa*. Editorial Mc Graw Hill.

Obtenido de <https://pavisva.files.wordpress.com/2016/01/transferencia-de-calor-y-masa-yunus-cengel.pdf>

Zenteno Cuba, C. B. (2016). *Electro obtención de cobre empleando el método electrodialítico reactivo*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA.

PROBLEMA	OBJETIVO	JUSTIFICACION	HIPOTESIS	VARIABLE	METODOLOGIA
General. ¿Cómo optimizar la producción en el proceso de soldadura del mantequillado con níquel en barras de cobre en la empresa PRODERMET S.R. LTDA.2023? Específicos. ¿Cuáles son los parámetros en el proceso de mantequillado con níquel en barras de cobre? ¿Cómo reducir la pérdida de calor en las áreas críticas del proceso de soldadura manteniendo los rangos óptimos de temperatura? ¿Cómo validar la funcionalidad del aislador térmico en el proceso del mantequillado de las barras	General. Implementar el diseño de aislador térmico en el proceso de soldadura por mantequillado con níquel en barras de cobre para optimizar la producción en la empresa PRODERMET S.R. LTDA.,2023 Específicos. Diseñar un aislador térmico basándonos en los parámetros del mantequillado en las barras de cobre. Evaluar las dimensiones, funcionamiento y selección del material del aislador térmico a partir del análisis térmico por transferencia de calor. Modelar el comportamiento funcional del aislador térmico con un software de elementos finitos o métodos numéricos.	Los cátodos permanentes para la electro-obtención del cobre, son de carácter importante para dicho proceso, en la cual su fabricación es de carácter complicado ya que no hay mucha información sobre cómo es la fabricación de dichas placas, además que por la competencia del mercado cada fabricante de dicho elemento lo guarda para su propio beneficio económico. En este caso en particular se hace logra fabricar mediante la soldadura de metales disimilares, en la cual se hace una serie de procedimientos para lograr una soldadura de buena calidad, pero para mejor producción de esta se diseña un aislador térmico para poder soldar de manera más eficaz el cobre de dichos cátodos permanentes. En	General La implementación del diseño del aislador térmico en el proceso de soldadura por Mantequillado con níquel de una barra de cobre con metal de aporte de níquel, optimizará la producción aplicable en la empresa Prodermet S.R.Ltda.,2023.	Independiente Aislador Térmico Dependiente Producción (Productividad)	Tipo de investigación Experimental. Método: Explicativo.

de cobre? ¿Cómo desarrollar instrucciones claras y detalladas para el aislador térmico, incluyendo secuencias y técnicas de montaje? ¿Cómo validar la optimización de la producción en la empresa PRODERMET S.R. LTDA. por la Implementación del diseño de un aislador térmico en el proceso de soldadura por mantequillaado con níquel en barras de cobre? Y ¿Cuánto costaría la implementación del aislador térmico en la empresa PRODERMET S.R. LTDA., siendo un prototipo inicial?	Realizar ingeniería de detalles del aislador térmico, a través de planos de ensamble y fabricación. Evaluar la optimización del rendimiento de la producción en el proceso de soldadura en barra de cobre con níquel con la implementación del aislador térmico. Y realizar un análisis económico de la Implementación del diseño de un aislador térmico en el proceso de soldadura por mantequillaado con níquel en barras de cobre.	dicha soldadura del cobre se tiene que precalentar esta barra para poder soldarla a la plancha de acero inoxidable, pero el problema surge por el cobre que es buen disipador de calor, el cual no mantiene lo suficiente el calor para soldar de manera adecuada, entonces de ahí surge la idea de poder diseñar un aislador térmico para la soldadura que se realizara en dicha barra de cobre. La investigación busca mantener la calidad de soldadura, pero con mayor producción en planta de la fabricación de los cátodos permanentes, así como también disminuir su tiempo de producción. Debido a que no se cuenta con suficientes estudios e información sobre la fabricación de estos tipos de cátodos permanentes mediante soldadura, el presente trabajo es			
---	---	--	--	--	--

		conveniente para mejorar el procedimiento que la empresa maneja sobre la soldadura en la fabricación de cátodos permanentes. Por otra parte, la investigación contribuye a ampliar los datos y afianzar conocimientos sobre la soldadura en metales disimilares, como se presenta en este caso en particular de los Cátodos Permanentes.			
--	--	--	--	--	--

ANEXO 2: NORMA UNE EN ISO 12241 (VDI 2055)

Las normas aplicadas al diseño del aislador térmico propuesto es las siguientes, cabe resaltar que se utilizó una guía de aislamiento térmico industrial que también abarcan dichas normas.

UNE-EN ISO 12241: Aislamiento térmico para equipos de edificación e instalaciones industriales. Método de cálculo.

VDI 2055: norma alemana equivalente a la UNE-EN ISO 12241.

Dentro de la guía de buenas prácticas de aislamiento térmico.



Donde encontramos los siguientes criterios de diseño:

Los criterios de selección del sistema de aislamiento a utilizar son:

- **Exigencias funcionales:** Dimensiones de los elementos a aislar. Temperatura de trabajo. Pérdidas de calor o cambios de temperatura del medio. Condiciones ambientales. Mantenimiento y control.
- **Seguridad:** De las personas. Contra el fuego. Contra riesgo de explosión. Protección acústica.
- **Optimización de costes:** Espesor óptimo de aislamiento. Tiempo de amortización de la inversión.
- **Protección del medioambiente:** Reducción de las emisiones de CO₂.
- **Protección frente a la corrosión:** Vida útil de la planta.

Así mismo, se tiene el siguiente índice correspondiente a la parte de cálculos:

ANEXO C AISLAMIENTO TÉRMICO	121
C.1. Termodinámica y transmisión de calor	121
C.2. Mecanismos de transmisión de calor	121
C.2.1. Por conducción	122
C.2.2. Por convección	123
C.2.3. Por radiación	125
C.3. Transmisión superficial de calor	126
C.3.1. Parte convectiva del coeficiente de superficie, hcv	127
C.3.2. Parte radiativa del coeficiente de superficie, hr	131
C.3.3. Aproximación para el cálculo del coeficiente superficial de transmisión de calor, hsup	132
C.4. Transmisión de calor por conducción en régimen estacionario	133
C.4.1. En paredes planas	133
Ejemplo 1: Pérdida de calor a través de una pared multicapa	136
C.4.1.1. Resistencia térmica a la convección y radiación para paredes planas	138
Ejemplo 2: Red de resistencias térmicas para una pared multicapa	146

Estas fórmulas teóricas que se usan para los cálculos, son obtenidas de las normas mencionadas anteriormente, de las cuales mostramos su índice e introducción, además se menciona la ley de Fourier y la ley de enfriamiento de Newton.

AENOR

- 9 -

ISO 12241:2008

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma internacional proporciona métodos de cálculo de las propiedades relacionadas con la transferencia de calor de equipos de edificación e instalaciones industriales, sobre todo bajo condiciones de estado estacionario. Esta norma internacional también aborda un tratamiento simplificado de puentes térmicos.

INDICE

	Página
PROLOGO	7
INTRODUCCION	8
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN	9
2 NORMAS PARA CONSULTA	9
3 TÉRMINOS, DEFINICIONES Y SÍMBOLOS	9
3.1 Términos y definiciones	9
3.2 Definición de símbolos	10
3.3 Subíndices	11
4 MÉTODOS DE CÁLCULO PARA LA TRANSMISIÓN DE CALOR	11
4.1 Ecuaciones fundamentales para la transmisión de calor	11
4.2 Temperatura superficial	23
4.3 Prevención de la condensación superficial	26
4.4 Determinación del flujo de calor total para paredes planas, tuberías y esferas	29

INTRODUCCIÓN

Los métodos de cálculo relativos a la conducción derivan directamente de la Ley de Fourier sobre la conducción de calor por lo que los acuerdos internacionales son simplemente una cuestión de verificación matemática. No existen diferencias significativas entre las ecuaciones utilizadas por los países miembros. Sin embargo, para la convección y la radiación no hay métodos en uso práctico que sean matemáticamente derivados de la ley de enfriamiento de Newton o de la ley de Stefan-Boltzman de radiación térmica, dado que es necesario algún elemento empírico. En particular, para la convección se han desarrollado muchas ecuaciones diferentes basadas en datos de laboratorio. Se han utilizado distintas ecuaciones en los diversos países, y no existen medios exactos para hacer una selección entre estas ecuaciones.

Pero estas fórmulas analizadas están hechas para un régimen estacionario, la cual en nuestro problema principal es de régimen transitorio. Partimos de las fórmulas utilizadas en las normas, para después tomar las fórmulas que se aplican en el libro de transferencia de calor y masa de Yunus Cengel en régimen transitorio.

CAPÍTULO CUATRO CONDUCCIÓN DE CALOR EN RÉGIMEN TRANSITORIO 225

- 4-1** Análisis de sistemas concentrados 226
 - Criterios para el análisis de sistemas concentrados 227
 - Algunas observaciones sobre la transferencia de calor en sistemas concentrados 229
- 4-2** Conducción de calor en régimen transitorio en paredes planas grandes, cilindros largos y esferas con efectos espaciales 232
 - Problema de conducción transitoria unidimensional, en forma adimensional 233
- 4-3** Conducción de calor en régimen transitorio en sólidos semiinfinitos 249
 - Contacto de dos sólidos semiinfinitos 253
- 4-4** Conducción de calor en régimen transitorio en sistemas multidimensionales 256
 - Tema de interés especial:*
Refrigeración y congelación de alimentos 264
 - Resumen 275
 - Bibliografía y lecturas sugeridas 277
 - Problemas 277

CAPÍTULO CINCO MÉTODOS NUMÉRICOS EN LA CONDUCCIÓN DE CALOR 295

- 5-1** ¿Por qué los métodos numéricos? 296
 - 1 Limitaciones 297
 - 2 Una mejor elaboración de modelos 297
 - 3 Flexibilidad 298
 - 4 Complicaciones 298
 - 5 Naturaleza humana 298
- 5-2** Formulación en diferencias finitas de ecuaciones diferenciales 299

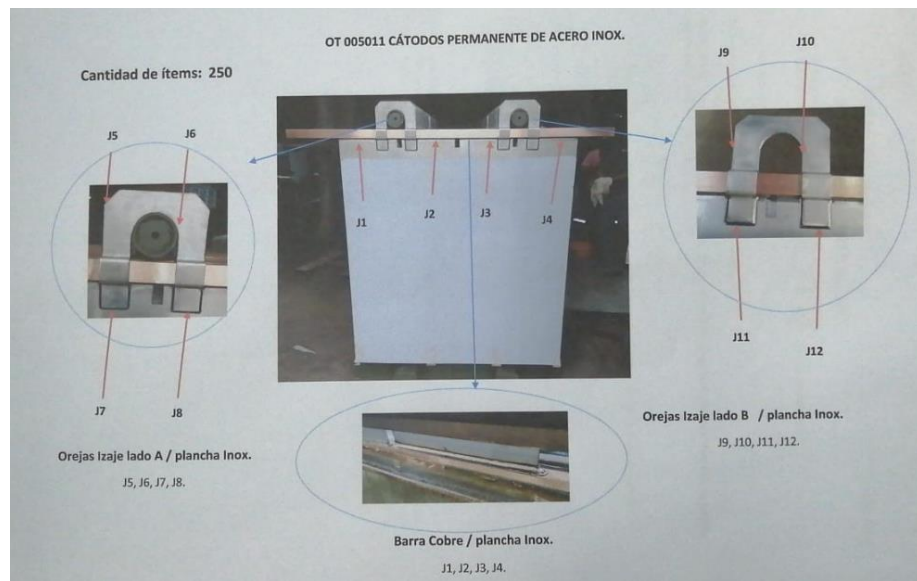
- 5-3** Conducción unidimensional de calor en estado estacionario 302
 - Condiciones de frontera 304
- 5-4** Conducción bidimensional de calor en estado estacionario 313
 - Nodos frontera 314
 - Fronteras irregulares 318
- 5-5** Conducción de calor en régimen transitorio 322
 - Conducción de calor en régimen transitorio en una pared plana 324
 - Conducción bidimensional de calor en régimen transitorio 335
 - Software SS-T CONDUCT interactivo 340

ANEXO 3: CALIDAD DE SOLDADURA DE CÁTODOS PERMANENTE

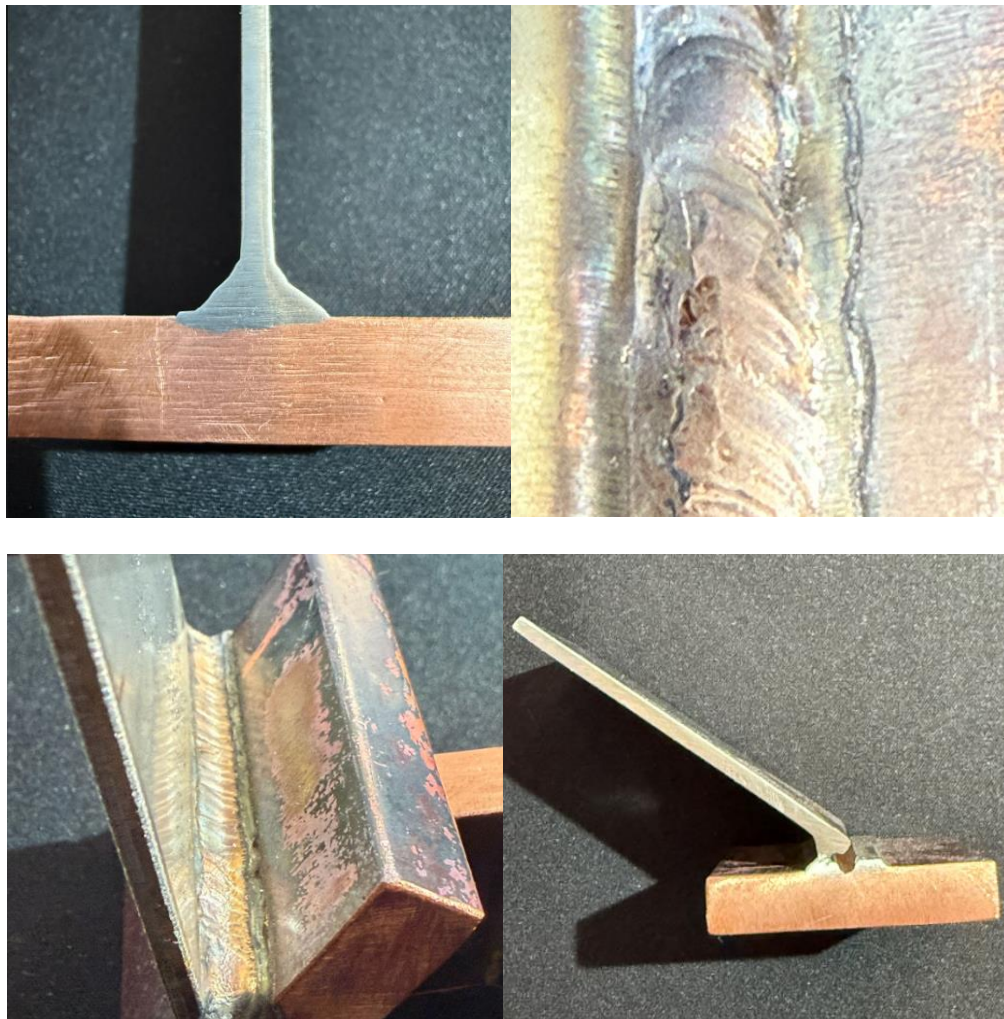
VERIFICACIÓN DEL TRABAJO DE SOLDADURA		Código : SOC-8-27 Versión : 02 Fecha : 23/9/2021																	
ORDEN DE TRABAJO N° 005011																			
Proyecto: Cálculos permisionarios de acero inoxidable (aleación 304) ASTM A240/TP304, 82 /Ca - Corte plancha, corte en V (V-Groove), soldadura placa 3.25 x 1.150 x 1063 con barra Cobre 1" x 1.6" x 1440		Fecha: 02/08/23																	
FASE I: ANTES DE SOLDAR																			
Procedimiento de soldadura se rige por código: ☒ SI ☐ NO Ficha Técnica de Soldadura: FT-537																			
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">- PQR</td> <td>☒ SI ☐ NO</td> <td rowspan="3"></td> </tr> <tr> <td>- WPS</td> <td>☒ SI ☐ NO</td> </tr> <tr> <td>- WPC</td> <td>☒ SI ☐ NO</td> </tr> </table>			- PQR	☒ SI ☐ NO		- WPS	☒ SI ☐ NO	- WPC	☒ SI ☐ NO										
- PQR	☒ SI ☐ NO																		
- WPS	☒ SI ☐ NO																		
- WPC	☒ SI ☐ NO																		
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">- Certificado de calidad material base</td> <td>☒ SI ☐ NO</td> <td rowspan="5">MATERIALES DEL CLIENTE</td> </tr> <tr> <td>- Certificado de calidad material de aporte</td> <td>☒ SI ☐ NO</td> </tr> <tr> <td>- Identificación de elementos a soldar</td> <td>☒ SI ☐ NO</td> </tr> <tr> <td>- Certificado mantenimiento equipos de soldar</td> <td>☒ SI ☐ NO</td> </tr> <tr> <td>- Certificado calibración equipos de medición</td> <td>☒ SI ☐ NO</td> </tr> </table>			- Certificado de calidad material base	☒ SI ☐ NO	MATERIALES DEL CLIENTE	- Certificado de calidad material de aporte	☒ SI ☐ NO	- Identificación de elementos a soldar	☒ SI ☐ NO	- Certificado mantenimiento equipos de soldar	☒ SI ☐ NO	- Certificado calibración equipos de medición	☒ SI ☐ NO						
- Certificado de calidad material base	☒ SI ☐ NO	MATERIALES DEL CLIENTE																	
- Certificado de calidad material de aporte	☒ SI ☐ NO																		
- Identificación de elementos a soldar	☒ SI ☐ NO																		
- Certificado mantenimiento equipos de soldar	☒ SI ☐ NO																		
- Certificado calibración equipos de medición	☒ SI ☐ NO																		
Verificación de juntas: <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">- De filete ☒</td> <td style="width: 30%;">- Ángulo de bisel ☒ SI ☐ NO</td> <td rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>- A tope ☐</td> <td>- Talbor ☒ SI ☐ NO</td> </tr> <tr> <td></td> <td>- Altura ☒ SI ☐ NO</td> </tr> <tr> <td></td> <td>- Abertura ☒ SI ☐ NO</td> </tr> </table>			- De filete ☒	- Ángulo de bisel ☒ SI ☐ NO		- A tope ☐	- Talbor ☒ SI ☐ NO		- Altura ☒ SI ☐ NO		- Abertura ☒ SI ☐ NO								
- De filete ☒	- Ángulo de bisel ☒ SI ☐ NO																		
- A tope ☐	- Talbor ☒ SI ☐ NO																		
	- Altura ☒ SI ☐ NO																		
	- Abertura ☒ SI ☐ NO																		
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">- Limpieza de juntas: ☒ SI ☐ NO</td> <td rowspan="2"></td> </tr> <tr> <td>- Pre calentamiento: ☒ SI ☐ NO</td> </tr> </table> SOLD AL COBRE 350°C			- Limpieza de juntas: ☒ SI ☐ NO		- Pre calentamiento: ☒ SI ☐ NO														
- Limpieza de juntas: ☒ SI ☐ NO																			
- Pre calentamiento: ☒ SI ☐ NO																			
FASE II: DURANTE LA SOLDADURA																			
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">- Condiciones del entorno adecuadas para soldar (p.e. prevención de corrientes de aire)</td> <td>☒ SI ☐ NO</td> <td rowspan="8">NO APLICA</td> </tr> <tr> <td>- Consumibles de soldadura almacenados y en buenas condiciones</td> <td>☒ SI ☐ NO</td> </tr> <tr> <td>- Parámetros de soldadura conforme a procedimientos</td> <td>☒ SI ☐ NO</td> </tr> <tr> <td>- Flujo de gas: tipo, presión, velocidad conforme a procedimientos</td> <td>☒ SI ☐ NO</td> </tr> <tr> <td>- Verificación paso a paso</td> <td>☒ SI ☐ NO</td> </tr> <tr> <td>- Verificación secuencia multipase</td> <td>☒ SI ☐ NO</td> </tr> <tr> <td>- Verificación temperatura entre pases conforme a procedimientos</td> <td>☒ SI ☐ NO</td> </tr> <tr> <td>- Limpieza interpasos</td> <td>☒ SI ☐ NO</td> </tr> </table>			- Condiciones del entorno adecuadas para soldar (p.e. prevención de corrientes de aire)	☒ SI ☐ NO	NO APLICA	- Consumibles de soldadura almacenados y en buenas condiciones	☒ SI ☐ NO	- Parámetros de soldadura conforme a procedimientos	☒ SI ☐ NO	- Flujo de gas: tipo, presión, velocidad conforme a procedimientos	☒ SI ☐ NO	- Verificación paso a paso	☒ SI ☐ NO	- Verificación secuencia multipase	☒ SI ☐ NO	- Verificación temperatura entre pases conforme a procedimientos	☒ SI ☐ NO	- Limpieza interpasos	☒ SI ☐ NO
- Condiciones del entorno adecuadas para soldar (p.e. prevención de corrientes de aire)	☒ SI ☐ NO	NO APLICA																	
- Consumibles de soldadura almacenados y en buenas condiciones	☒ SI ☐ NO																		
- Parámetros de soldadura conforme a procedimientos	☒ SI ☐ NO																		
- Flujo de gas: tipo, presión, velocidad conforme a procedimientos	☒ SI ☐ NO																		
- Verificación paso a paso	☒ SI ☐ NO																		
- Verificación secuencia multipase	☒ SI ☐ NO																		
- Verificación temperatura entre pases conforme a procedimientos	☒ SI ☐ NO																		
- Limpieza interpasos	☒ SI ☐ NO																		
FASE III: DESPUÉS DE SOLDAR																			
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">- Inspección visual superficial</td> <td>☒ SI ☐ NO</td> <td rowspan="5">NO REQUIERE</td> </tr> <tr> <td>- Inspección forma y dimensiones</td> <td>☒ SI ☐ NO</td> </tr> <tr> <td>- Inspección defectos superficiales</td> <td>☒ SI ☐ NO</td> </tr> <tr> <td>- Inspección evidencia de fugas</td> <td>☒ SI ☐ NO</td> </tr> <tr> <td>- Inspección alineamiento de superficies</td> <td>☒ SI ☐ NO</td> </tr> </table>			- Inspección visual superficial	☒ SI ☐ NO	NO REQUIERE	- Inspección forma y dimensiones	☒ SI ☐ NO	- Inspección defectos superficiales	☒ SI ☐ NO	- Inspección evidencia de fugas	☒ SI ☐ NO	- Inspección alineamiento de superficies	☒ SI ☐ NO						
- Inspección visual superficial	☒ SI ☐ NO	NO REQUIERE																	
- Inspección forma y dimensiones	☒ SI ☐ NO																		
- Inspección defectos superficiales	☒ SI ☐ NO																		
- Inspección evidencia de fugas	☒ SI ☐ NO																		
- Inspección alineamiento de superficies	☒ SI ☐ NO																		
Pruebas no destructivas realizadas: _____ Instrumentos de medición: _____																			
Firma: Fecha: 02/08/23																			
Soldador: Edwin Torres																			

INFORME DE INSPECCIÓN DE SOLDADURA						Código Versión Fecha
Orden de Trabajo: 005011		PROYECTO: Cálculo permanente de acero inoxidable electrolítico sobre ASTM A249 TP316L SS Cu - Corte plancha, corte en V (V-Groove), espesura placa 3.25 x 1000 x 1001 con barra cobre 1" x 11/2" x 1440				
CÓDIGO O ESPECIFICACIÓN:		ASME: AWS: API: FR-1.43	MATERIAL BASE: Gr. ASTM A249 TP316L	MATERIAL DE APORTE (Especificación, B): AWS AS 14, ERW 1, Ø 3/32" AWS AS 7, SRCuB, Ø 3/32" AWS AS 8, SR316L, Ø 1/8"		
PROCEDIMIENTO O FICHA TÉCNICA DE SOLDADURA: FT-337			SOLDADOR(x): Edwin Torre			
# JUNTA & LOCALIZACIÓN	APROPIADO PARA EL MATERIAL	APROPIADO PARA LA POSICIÓN	APROPIADO PARA EL METODO	APROPIADO PARA EL TIPO DE JUNTA	APROPIADO PARA EL TIPO DE METAL	OBSERVACIONES
CATODOS 1 al 250						
31	/	0	0	0	0	/
32	/	0	0	0	0	/
33	/	0	0	0	0	/
34	/	0	0	0	0	/
35	/	0	0	0	0	/
36	/	0	0	0	0	/
37	/	0	0	0	0	/
38	/	0	0	0	0	/
39	/	0	0	0	0	/
310	/	0	0	0	0	/
311	/	0	0	0	0	/
312	/	0	0	0	0	/

Soldadura de cátodos permanentes.



Probetas de plancha inoxidable y barra de cobre.



ANEXO 4: PRECIOS DE MATERIALES.

Conversemos ahora: 963 363 386

Registrarse o Crear una cuenta

FERROPOLIS

Buscar en todos los productos...

CARRITO

OFERTAS DEL MES

CATEGORÍAS

SERVICIOS

NOSOTROS

POLÍTICA DE VENTA

Inicio

PLATINA A-36 X 6 MT 1/8" X 1/2



PLATINA A-36 X 6 MT 1/8" X 1/2

PLATINAA

S/. 15.50

Impuesto incluido.

Cantidad

-

1

+

PROMART

¿Qué estás buscando?

Desconecta tu ubicación

¡Hola, cómo estás!

Mi cuenta y pedidos

CARRITO

Todas las categorías

Solicita tu tarjeta ohi

Ofertas especiales

Lanzamientos

Casa inteligente

Servicios

Blog

Venta empresa

Promart

Herramientas

Equipos de soldadura

Electrodos



Electrodo facilito 11 1/8" 1kg Soldexa

SOLDEXA | SKU: 128443

Despacho desde 24 hrs

Precio lista

S/ 14.50

Calcula tus cuotas con Tarjeta ohi

-

1

+

Agregar

Métodos de entrega

Despacho programado

Desde el 30 de junio a partir de S/4.00

Despacho express

Calcula tus cuotas con Tarjeta ohi para ver disponibilidad

Retiro en tienda y otros puntos

Desde el 3 de julio a

FERREMAX

Busca productos, marcas y más...

Los más vendidos

Herramientas Eléctricas

Herramientas Inalámbricas

Herramientas Manuales

Automatiz

Organización y Almacenamiento

Ferretería y Construcción

Inicio

Colecciones

Disco corte metal acero 4 1/2" x10 unidades total



DISCO CORTE METAL ACERO 4 1/2" X10 unidades Total

SKU: TAC221155

TOTAL

Stock por asegurar

S/ 22.00

CANTIDAD

-

1

+

Agregar al carro

Set 10 Discos Corte Metal Para Amoladora 4 1/2" x 1.2mm TAC221155

Presentación: Corcaca metálica

Cantidad: 10 Discos

Medidas:

Diámetro: 115mm (4 1/2")

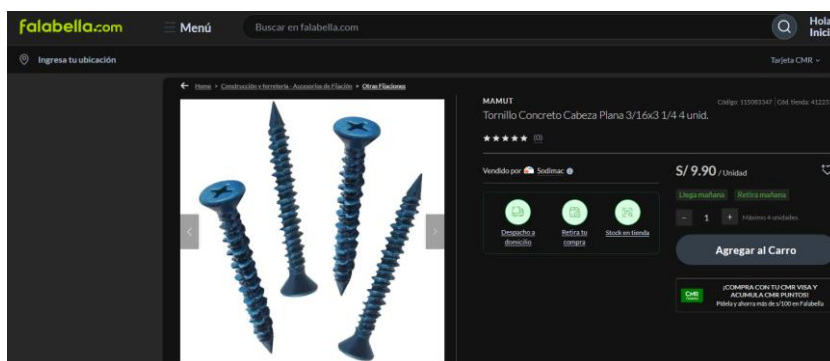
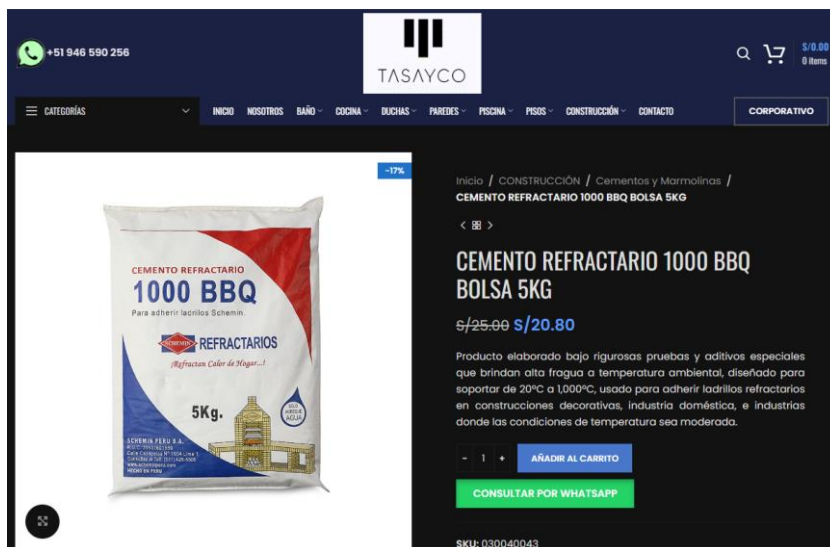
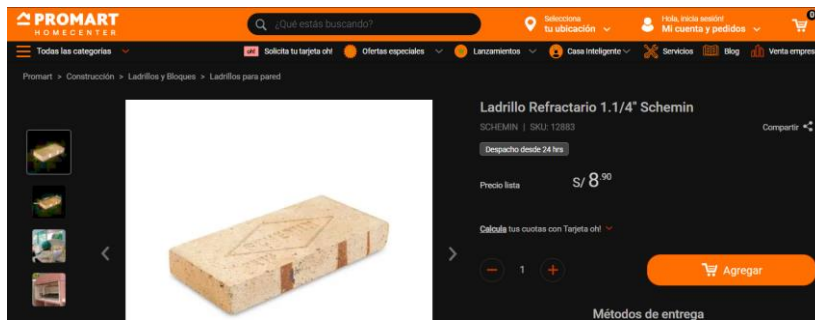
Espesor: 1.2mm

Eje: 22.2mm

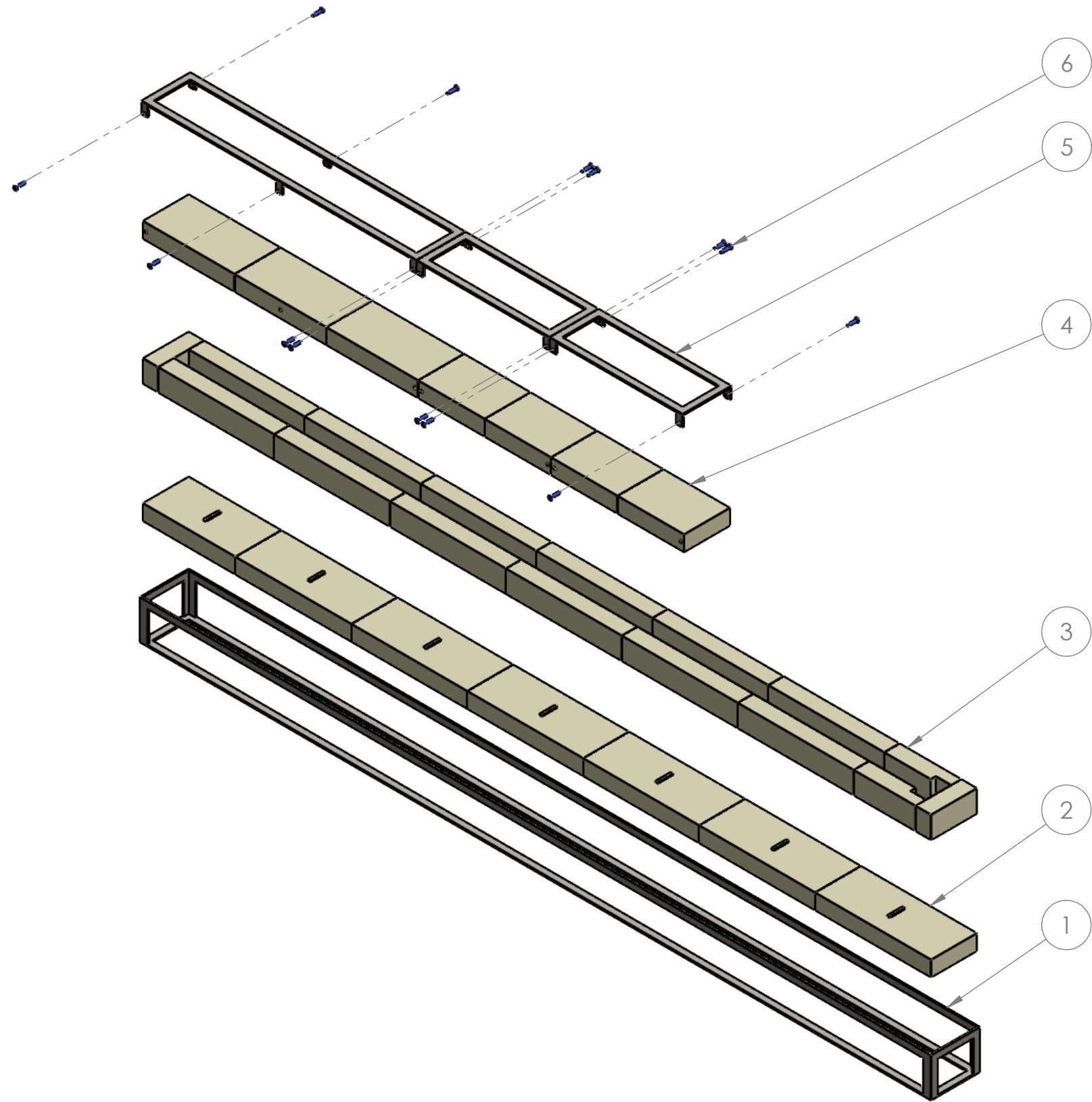
Máximas RPM: 13.500/min

Material de corte: Metal

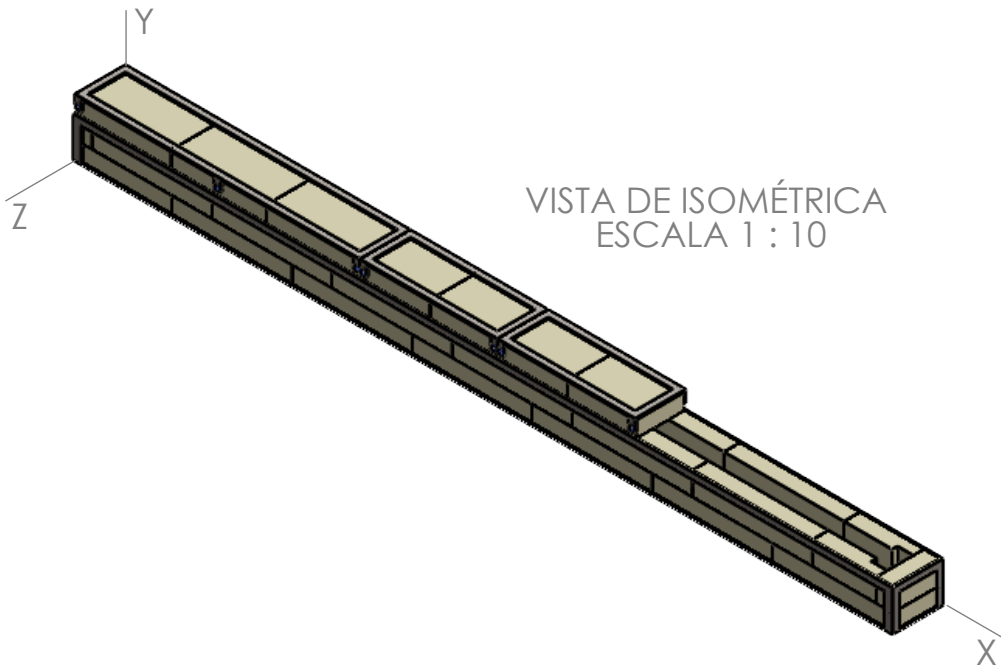
Centro plano: Si



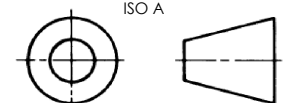
ANEXO 5: PLANOS DE EXPLOSIÓN Y DETALLES.

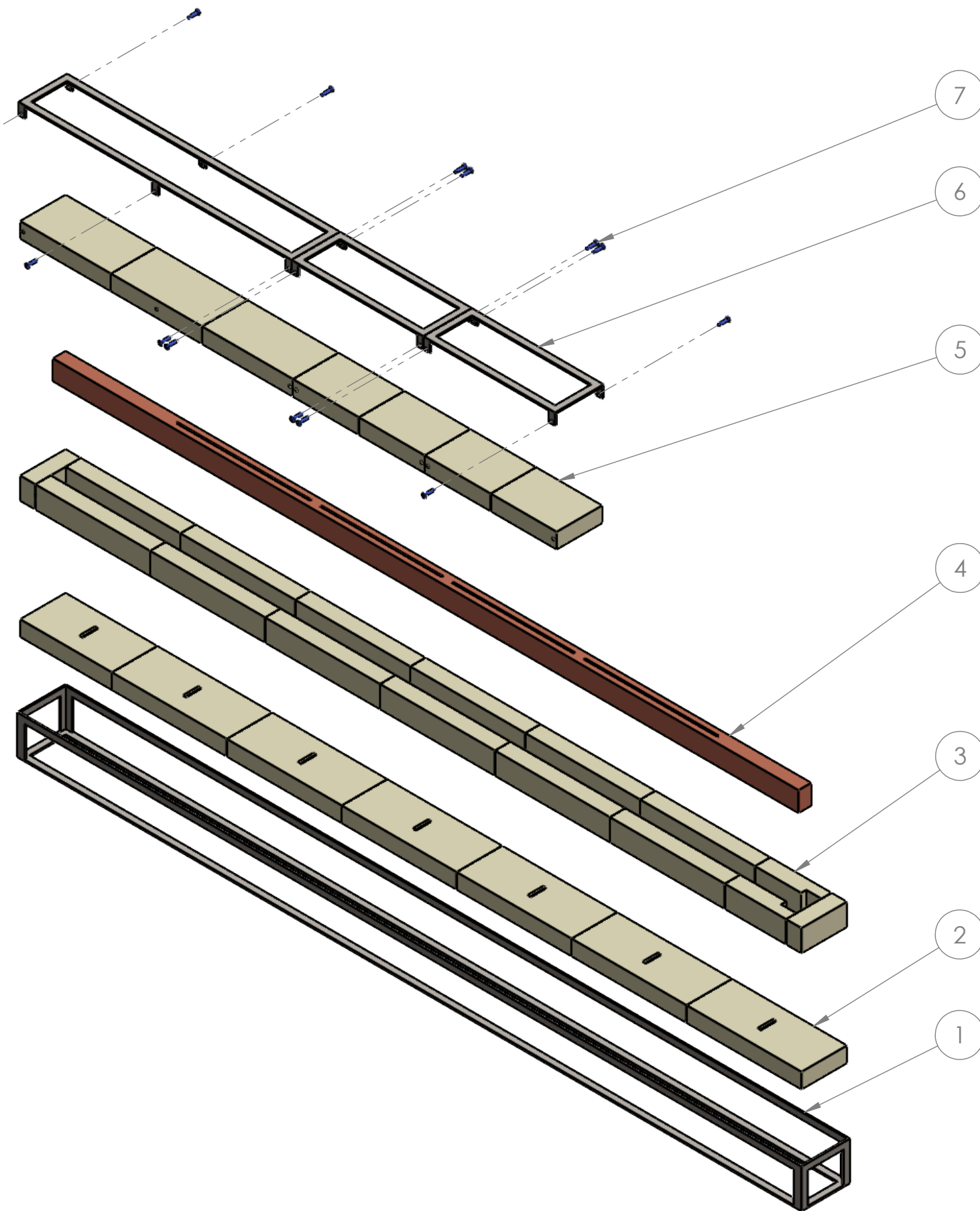


VISTA DE EXPLOSION ESCALA 1 : 7

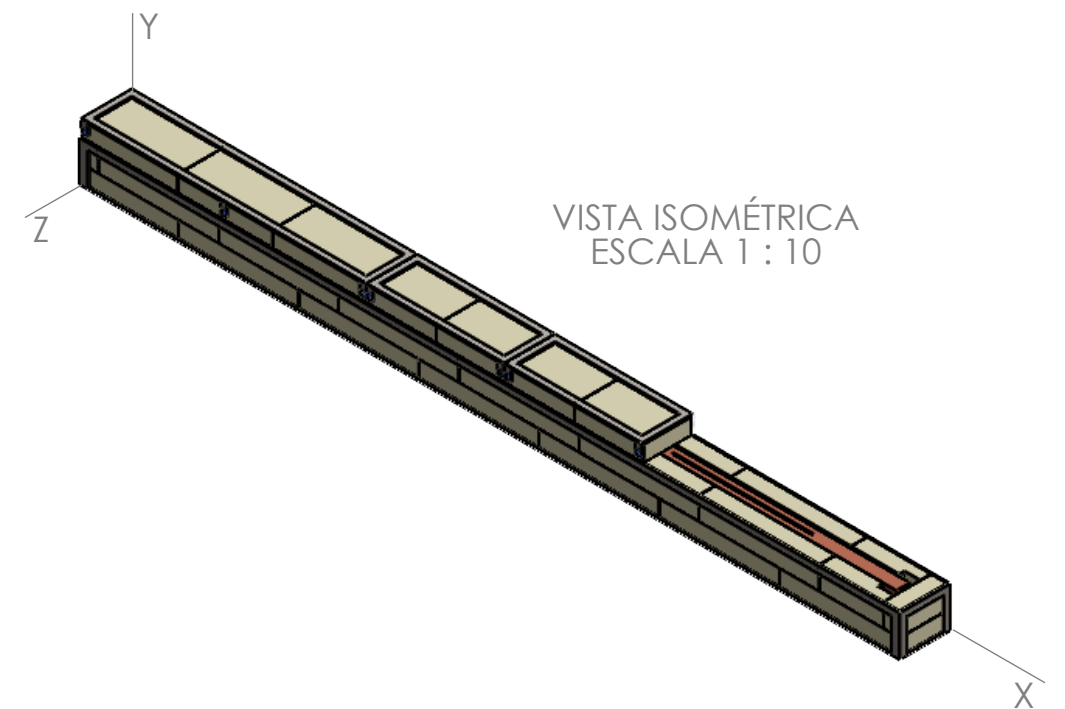


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	ARMAZON METALICO INFERIOR	ACERO ASTM A36	01
2	LADRILLOS BASE	LADRILLO REFRACTARIO	07
3	LADRILLOS LATERALES	LADRILLO REFRACTARIO	16
4	LADRILLOS LATERALES	LADRILLO REFRACTARIO	07
5	ARMAZON METALICO SUPERIOR	ACERO ASTM A36	03
6	TORNILLOS DE CONCRETO	ACERO	14

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA			
EMPRESA: PRODUCTOS DERIVADOS DEL METAL S.R.L		TITULO: Implementación del diseño de un aislador térmico en el proceso de soldadura por mantequillado con níquel en barras de cobre para optimizar la producción en la empresa Prodermet SRL..2023	
ASESOR: M. SC. Ing. ARTURO MACEDO SILVA		PLANO: PLANO DE EXPLOSION AISLADOR TÉRMICO	ISO A 
DISEÑADO POR: Bachill. DAVID E. YEPEZ PERALTA			
MATERIAL: VARIOS	HOJA: AT 01-A3	ESCALA: 1 : 7 UNIDADES: mm	FECHA: JUNIO DEL 2025 HOJA 1 DE 9

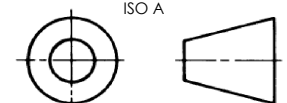


VISTA DE EXPLOSION ESCALA 1 : 7



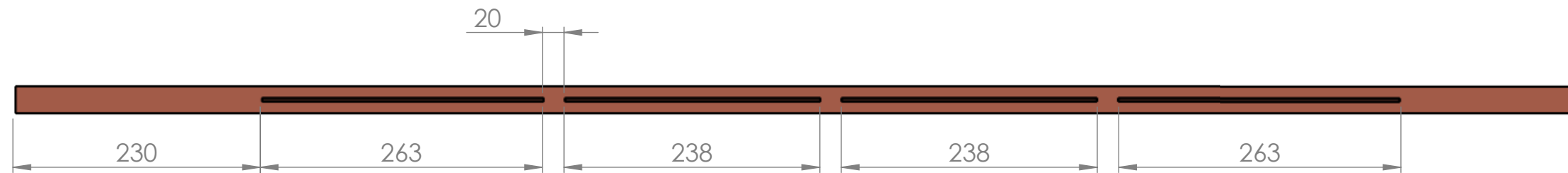
VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1 : 10

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	ARMAZON METALICO INFERIOR	ACERO ASTM A36	01
2	LADRILLOS BASE	LADRILLO REFRACTARIO	07
3	LADRILLOS LATERALES	LADRILLO REFRACTARIO	16
4	BARRA DE COBRE	COBRE	01
5	LADRILLOS SUPERIORES	LADRILLO REFRACTARIO	07
6	ARMAZON METALICO SUPERIOR	ACERO ASTM A36	03
7	TORNILLOS DE CONCRETO	ACERO	14

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABADEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA			
EMPRESA: PRODUCTOS DERIVADOS DEL METAL S.R.L		TITULO: Implementación del diseño de un aislador térmico en el proceso de soldadura por mantequillado con níquel en barras de cobre para optimizar la producción en la empresa Prodermet SRL...2023	
ASESOR: M. SC. Ing. ARTURO MACEDO SILVA		PLANO: PLANO DE EXPLOSION AISLADOR/COBRE	ISO A 
DISEÑADO POR: Bachill. DAVID E. YEPEZ PERALTA			
MATERIAL: VARIOS		HOJA: AT 02-A3	ESCALA: 1 : 7 UNIDADES: mm FECHA: JUNIO DEL 2025 HOJA 2 DE 9



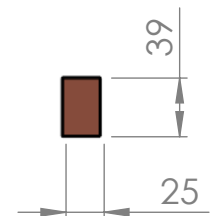
ISOMÉTRICO
ESCALA 1 : 8



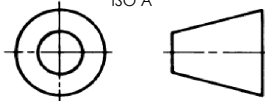
VISTA DE PLANTA ESCALA 1 : 5

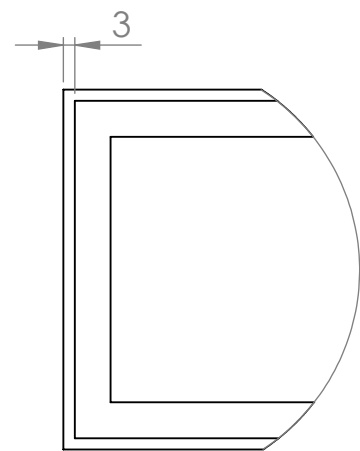


VISTA FRONTAL ESCALA 1 : 5



VISTA LATERAL ESCALA 1 : 5

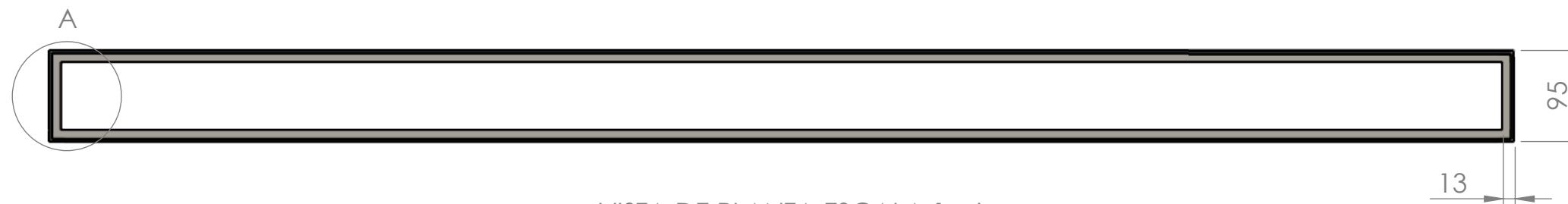
 UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA			
EMPRESA: PRODUCTOS DERIVADOS DEL METAL S.R.L		TITULO: Implementación del diseño de un aislador térmico en el proceso de soldadura por mantequillado con níquel en barras de cobre para optimizar la producción en la empresa Prodermet SRL...2023	
ASESOR: M. SC. Ing. ARTURO MACEDO SILVA		PLANO: BARRA DE COBRE	ISO A 
DISEÑADO POR: Bachill. DAVID E. YEPEZ PERALTA			
MATERIAL: COBRE	HOJA: AT 03-A3	ESCALA: 1 : 5	FECHA: JUNIO DEL 2025
		UNIDADES: mm	HOJA 3 DE 9



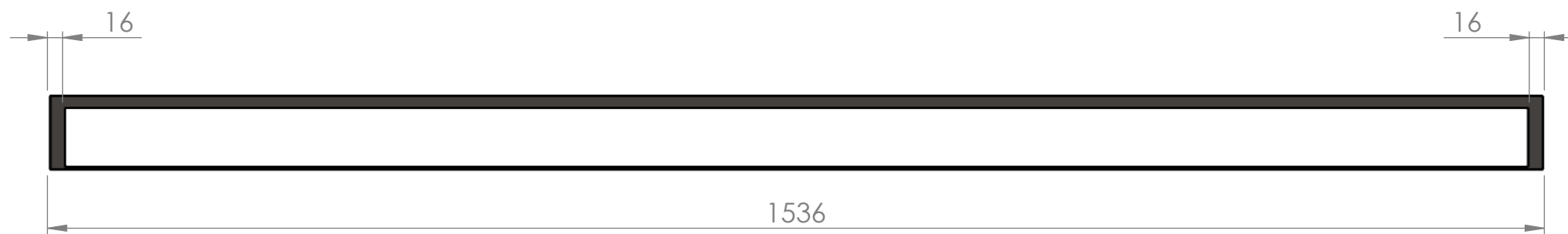
DETALLE A
ESCALA 1 : 2



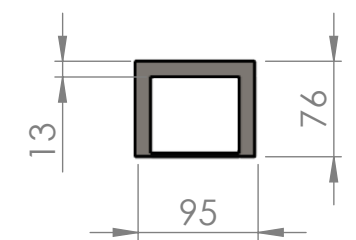
VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1 : 8



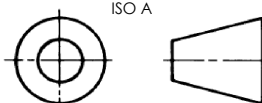
VISTA DE PLANTA ESCALA 1 : 6

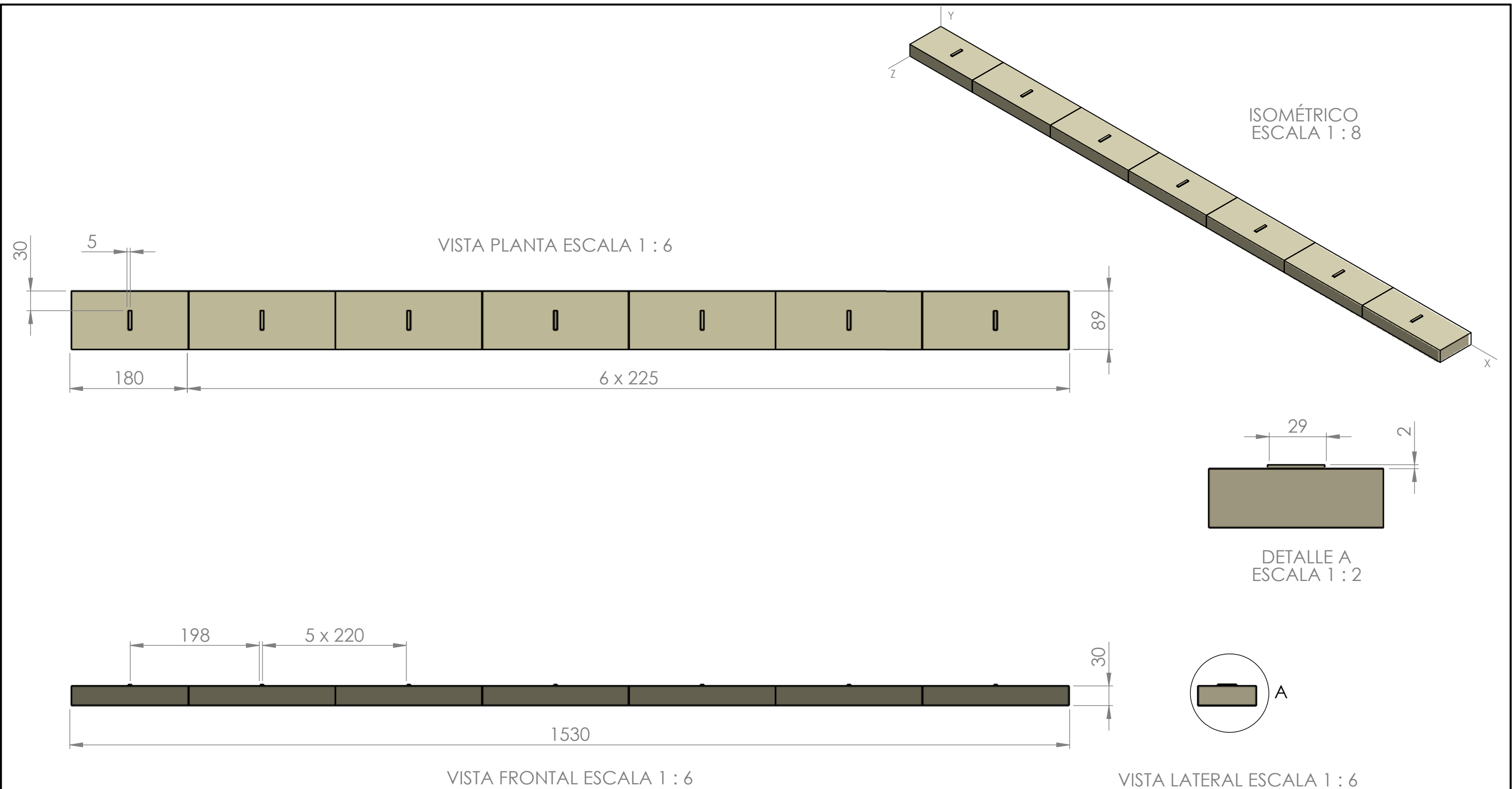


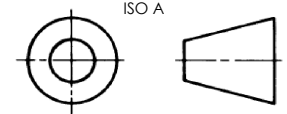
VISTA FRONTAL ESCALA 1 : 6

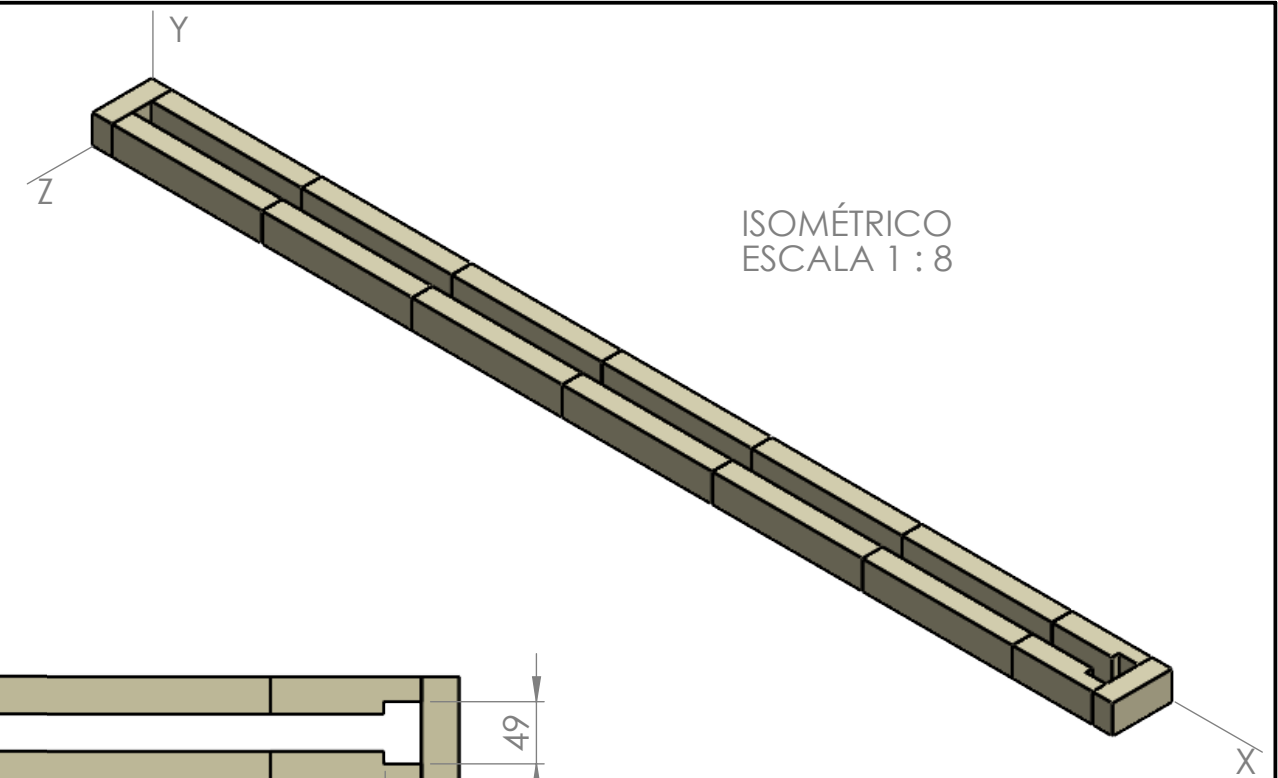


VISTA LATERAL ESCALA 1 : 6

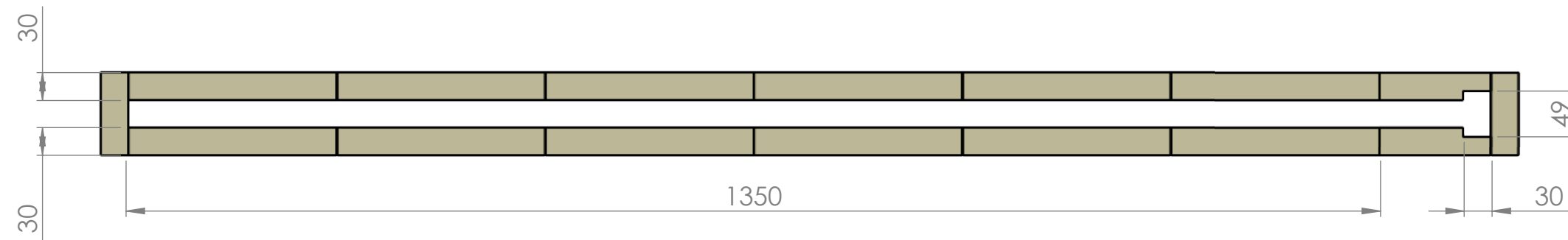
 UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABADEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA			
EMPRESA: PRODUCTOS DERIVADOS DEL METAL S.R.L		TITULO: Implementación del diseño de un aislador térmico en el proceso de soldadura por mantequillado con níquel en barras de cobre para optimizar la producción en la empresa Prodermet SRL..2023	
ASESOR: M. SC. Ing. ARTURO MACEDO SILVA		PLANO: MARCO METÁLICO INFERIOR	ISO A 
DISEÑADO POR: Bachill. DAVID E. YEPEZ PERALTA			
MATERIAL: ACERO ASTM A36	HOJA: AT 04-A3	ESCALA: 1 : 6	FECHA: JUNIO DEL 2025
		UNIDADES: mm	HOJA 4 DE 9



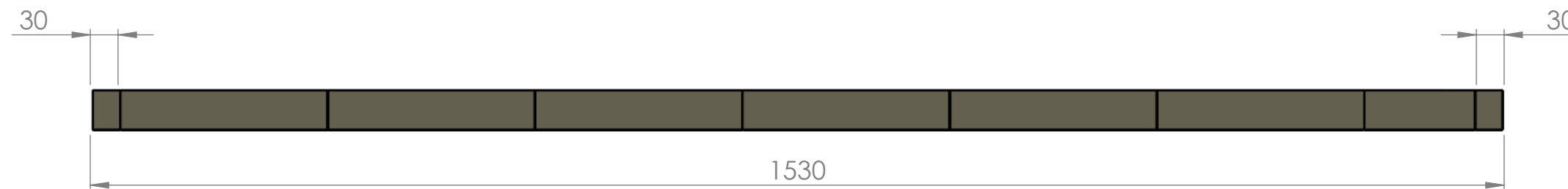
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABADEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA			
EMPRESA: PRODUCTOS DERIVADOS DEL METAL S.R.L		TITULO: Implementación del diseño de un aislador térmico en el proceso de soldadura por mantequillado con níquel en barras de cobre para optimizar la producción en la empresa Prodermet SRL..2023	
ASESOR: M. SC. Ing. ARTURO MACEDO SILVA		PLANO: LADRILLO BASE AISLADOR	ISO A 
DISEÑADO POR: Bachill. DAVID E. YEPEZ PERALTA			
MATERIAL: LADRILLO REFRACTARIO	HOJA: AT 05-A3	ESCALA: 1 : 6	FECHA: JUNIO DEL 2025
		UNIDADES: mm	HOJA 5 DE 9



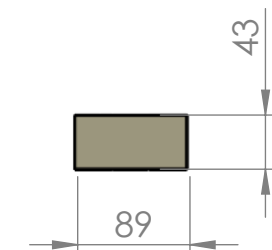
ISOMÉTRICO
ESCALA 1 : 8



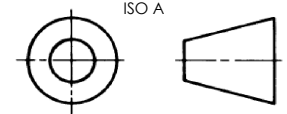
VISTA DE PLANTA ESCALA 1 : 6

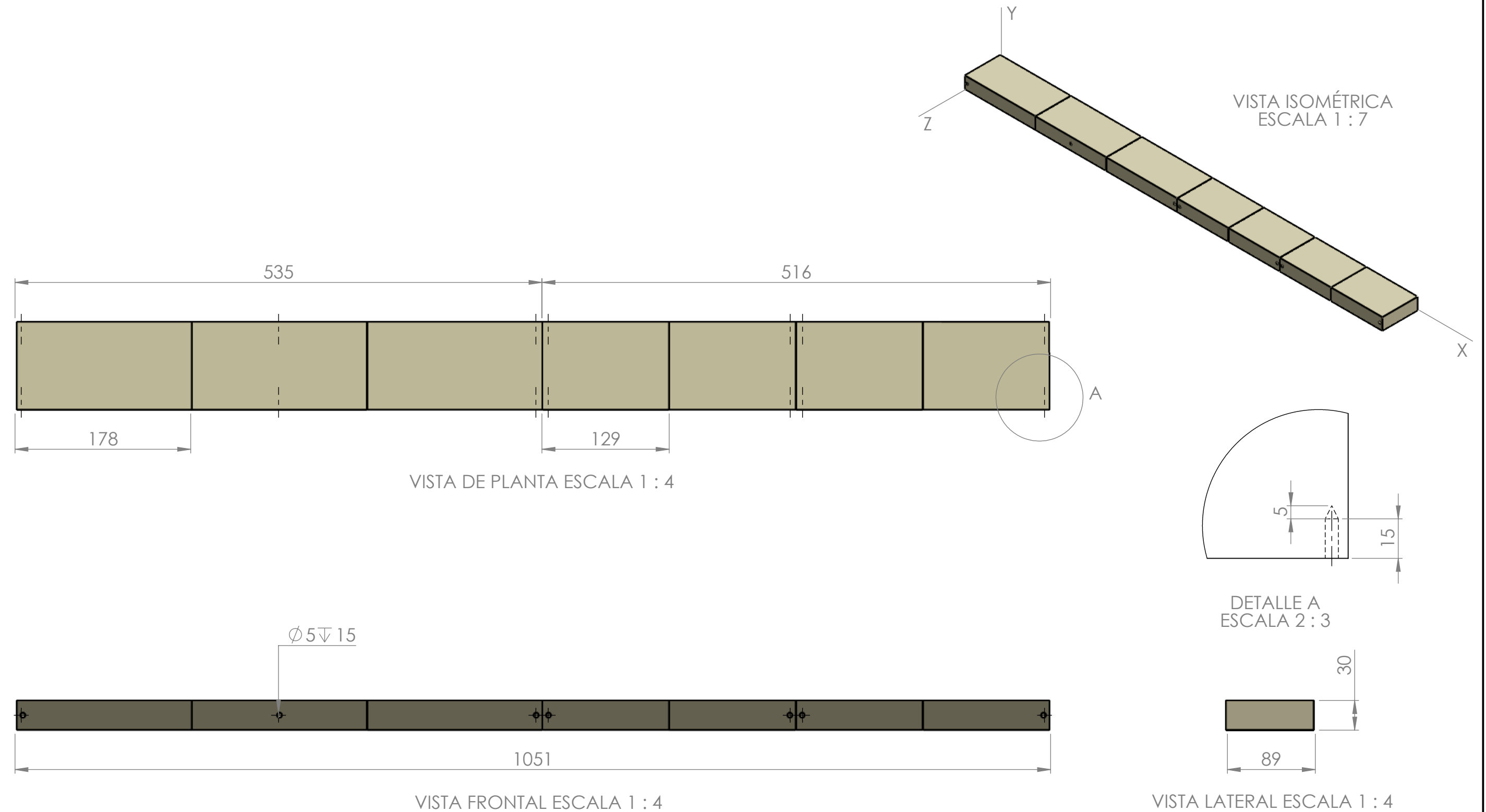


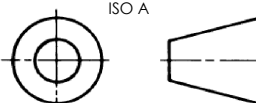
VISTA FRONTAL ESCALA 1 : 6

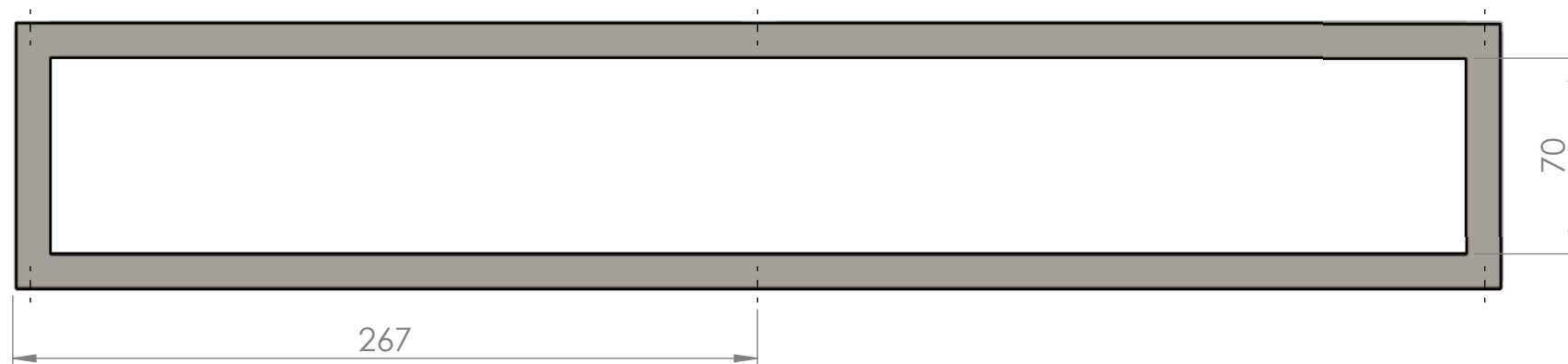


VISTA LATERAL ESCALA 1 : 6

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA			
EMPRESA: PRODUCTOS DERIVADOS DEL METAL S.R.L		TITULO: Implementación del diseño de un aislador térmico en el proceso de soldadura por mantequillado con níquel en barras de cobre para optimizar la producción en la empresa Prodermet SRL..2023	
ASESOR: M. SC. Ing. ARTURO MACEDO SILVA		PLANO: LADRILLOS LATERALES AISLADOR	ISO A 
DISEÑADO POR: Bachill. DAVID E. YEPEZ PERALTA			
MATERIAL: LADRILLO REFRACTARIO	HOJA: AT 06-A3	ESCALA: 1 : 6	FECHA: JUNIO DEL 2025
		UNIDADES: mm	HOJA 6 DE 9



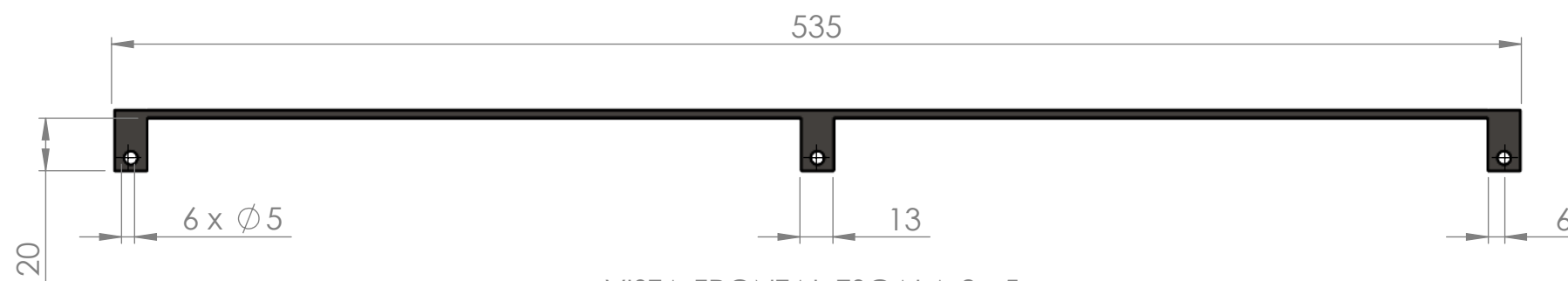
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABADEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA			
EMPRESA: PRODUCTOS DERIVADOS DEL METAL S.R.L		TITULO: Implementación del diseño de un aislador térmico en el proceso de soldadura por mantequillado con níquel en barras de cobre para optimizar la producción en la empresa Prodermet SRL..2023	
ASESOR: M. SC. Ing. ARTURO MACEDO SILVA		PLANO: LADRILLOS PARTE A Y B SUPERIOR AISLADOR	ISO A 
DISEÑADO POR: Bachill. DAVID E. YEPEZ PERALTA			
MATERIAL: LADRILLO REFRACTARIO	HOJA: AT 07-A3	ESCALA: 1 : 4	FECHA: JUNIO DEL 2025
		UNIDADES: mm	HOJA 7 DE 9



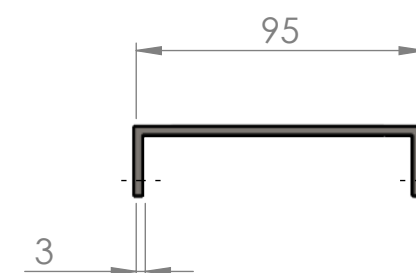
VISTA DE PLANTA ESCALA 2 : 5



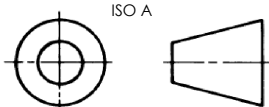
VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1 : 3

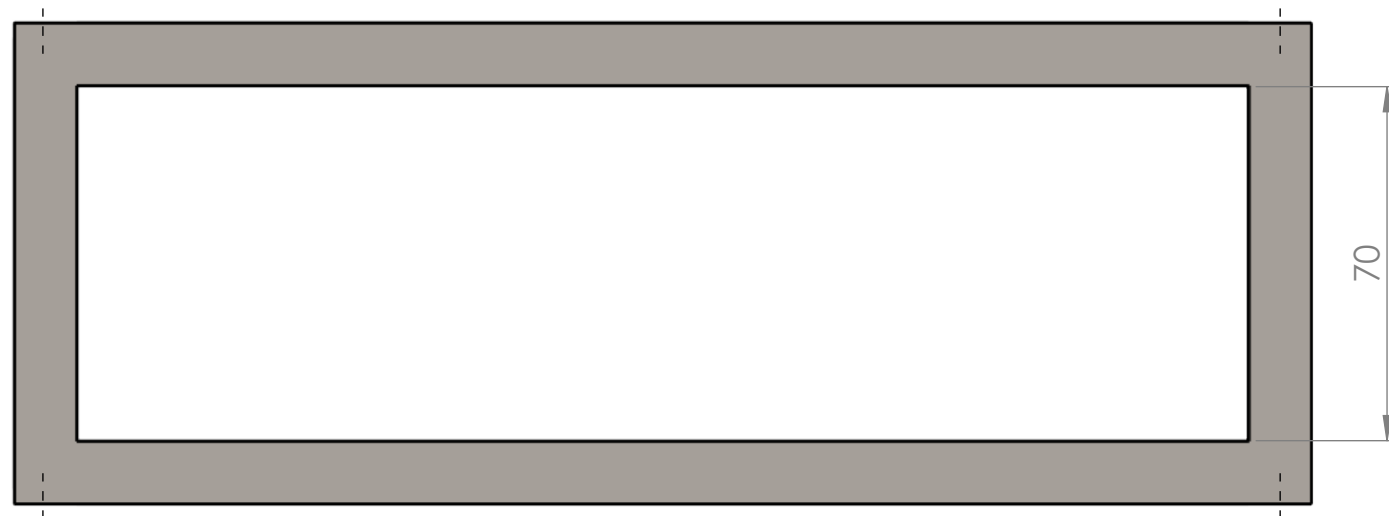


VISTA FRONTAL ESCALA 2 : 5

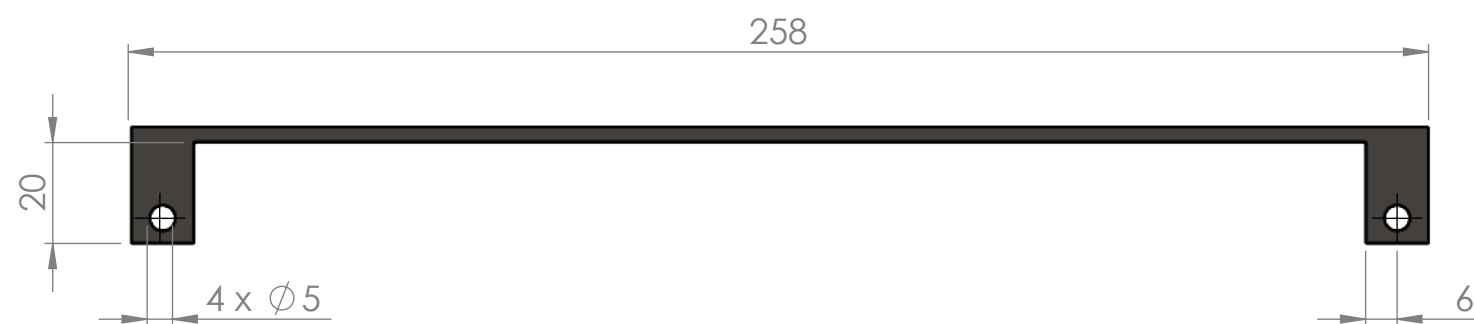


VISTA LATERAL ESCALA 2 : 5

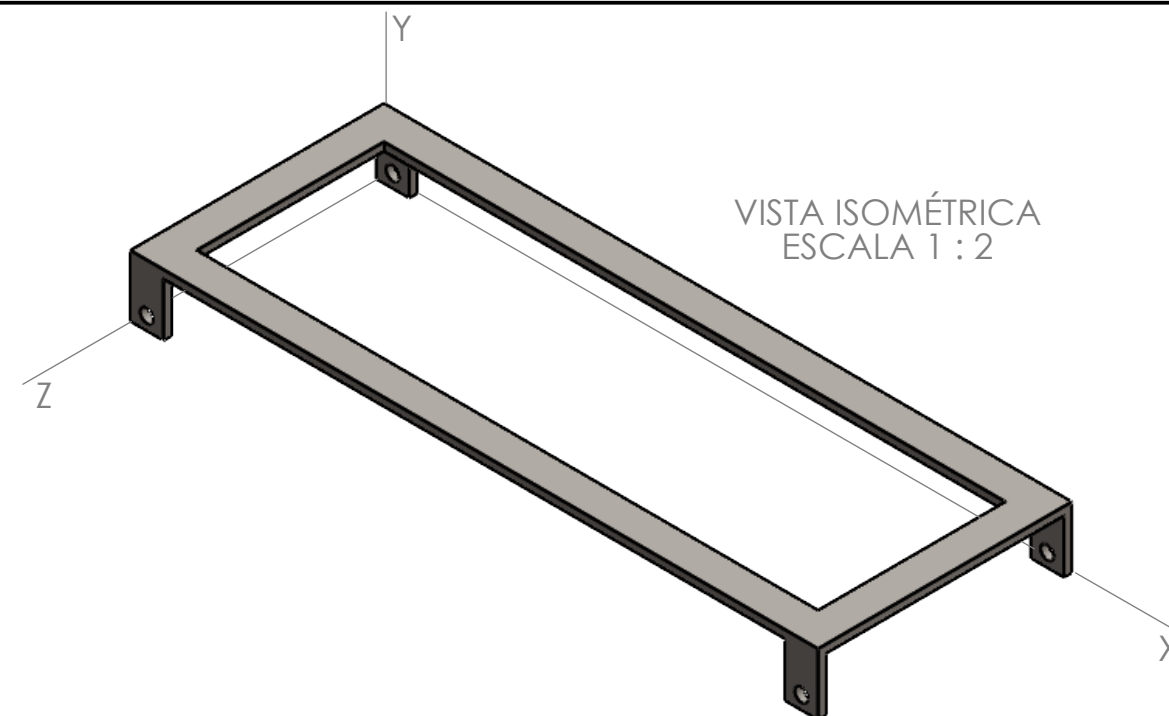
 UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA			
EMPRESA: PRODUCTOS DERIVADOS DEL METAL S.R.L		TITULO: Implementación del diseño de un aislador térmico en el proceso de soldadura por mantequillado con níquel en barras de cobre para optimizar la producción en la empresa Prodermet SRL...2023	
ASESOR: M. SC. Ing. ARTURO MACEDO SILVA		PLANO: MARCO METÁLICO SUPERIOR A	ISO A 
DISEÑADO POR: Bachill. DAVID E. YEPEZ PERALTA			
MATERIAL: ACERO ASTM A36	HOJA: AT 08-A3	ESCALA: 2 : 5 UNIDADES: mm	FECHA: JUNIO DEL 2025 HOJA 8 DE 9



VISTA DE PLANTA ESCALA 2 : 3



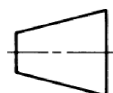
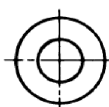
VISTA FRONTAL ESCALA 2 : 3

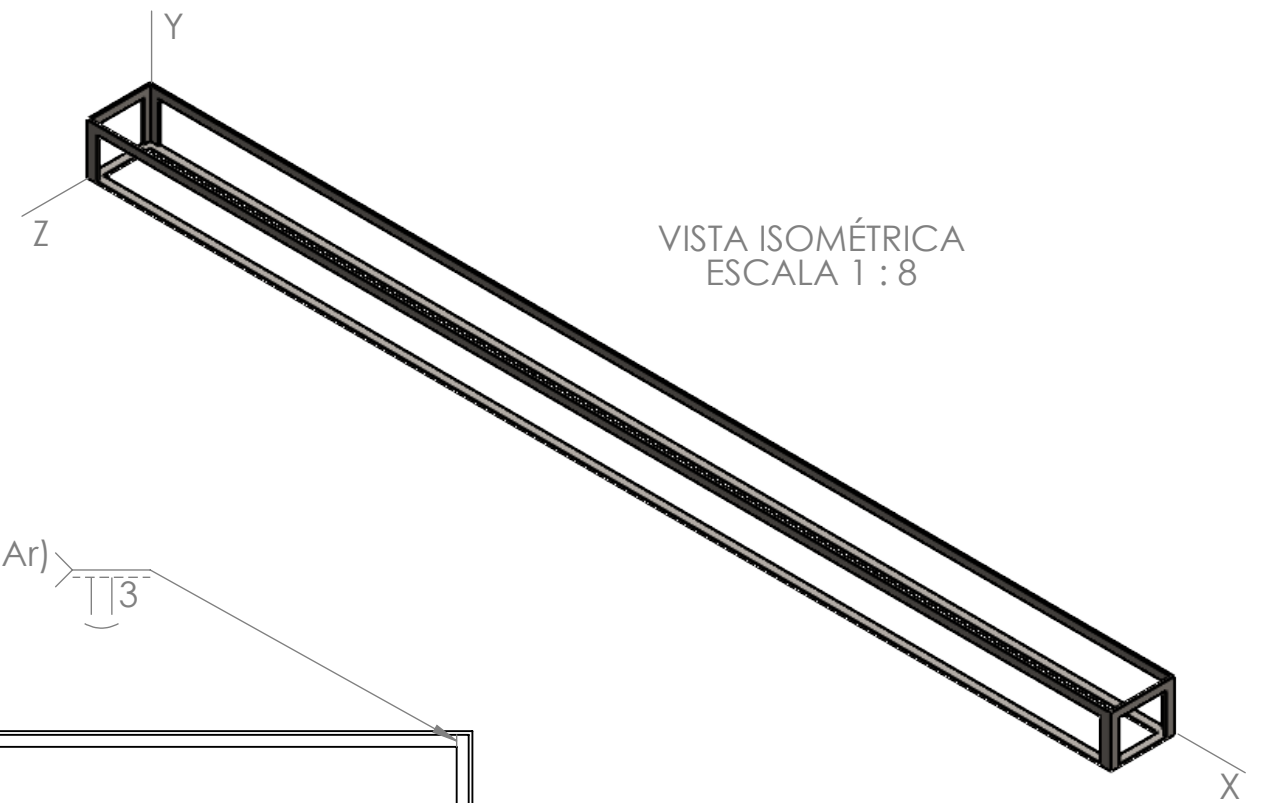


VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1 : 2



VISTA LATERAL ESCALA 2 : 3

 UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA			
EMPRESA: PRODUCTOS DERIVADOS DEL METAL S.R.L		TITULO: Implementación del diseño de un aislador térmico en el proceso de soldadura por mantequillado con níquel en barras de cobre para optimizar la producción en la empresa Prodermet SRL...2023	
ASESOR: M. SC. Ing. ARTURO MACEDO SILVA		PLANO: MARCO METÁLICO SUPERIOR B	ISO A 
DISEÑADO POR: Bachill. DAVID E. YEPEZ PERALTA			
MATERIAL: ACERO ASTM A36	HOJA: AT 09-A3	ESCALA: 2 : 3 UNIDADES: mm	FECHA: JUNIO DEL 2025 HOJA 9 DE 9



VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1 : 8



ER70S-3 3/32"
GTAW (100 % Ar)
9-15 v
85-250 A

VISTA DE PLANTA ESCALA 1 : 6

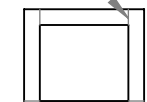


ER70S-3 3/32"
GTAW (100 % Ar)
9-15 v
85-250 A

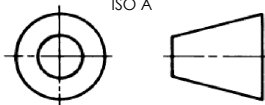
ER70S-3 3/32"
GTAW (100 % Ar)
9-15 v
85-250 A

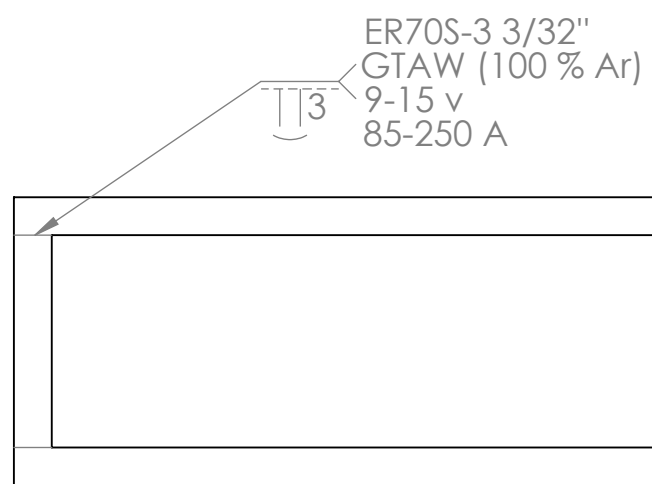
VISTA FRONTAL ESCALA 1 : 6

ER70S-3 3/32"
GTAW (100 % Ar)
9-15 v
85-250 A

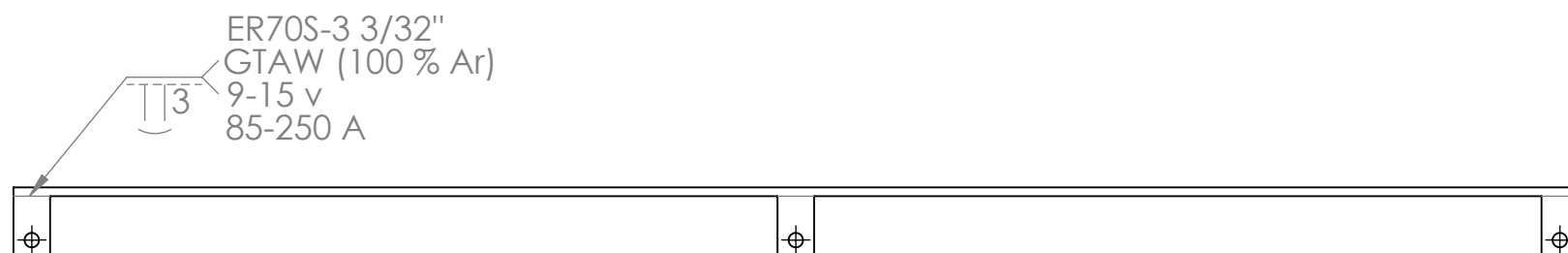


VISTA LATERAL ESCALA 1 : 6

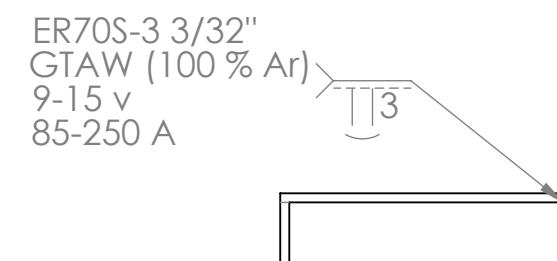
 UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA			
EMPRESA: PRODUCTOS DERIVADOS DEL METAL S.R.L		TITULO: Implementación del diseño de un aislador térmico en el proceso de soldadura por mantequillado con níquel en barras de cobre para optimizar la producción en la empresa Prodermet SRL...2023	
ASESOR: M. SC. Ing. ARTURO MACEDO SILVA		PLANO: SOLDADURA MARCO METÁLICO INFERIOR	ISO A 
DISEÑADO POR: Bachill. DAVID E. YEPEZ PERALTA			
MATERIAL: ACERO ASTM A36	HOJA: SD 01-A3	ESCALA: 1 : 6	FECHA: JUNIO DEL 2025
		UNIDADES: mm	HOJA 1 DE 3



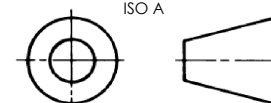
VISTA DE PLANTA ESCALA 2 : 5

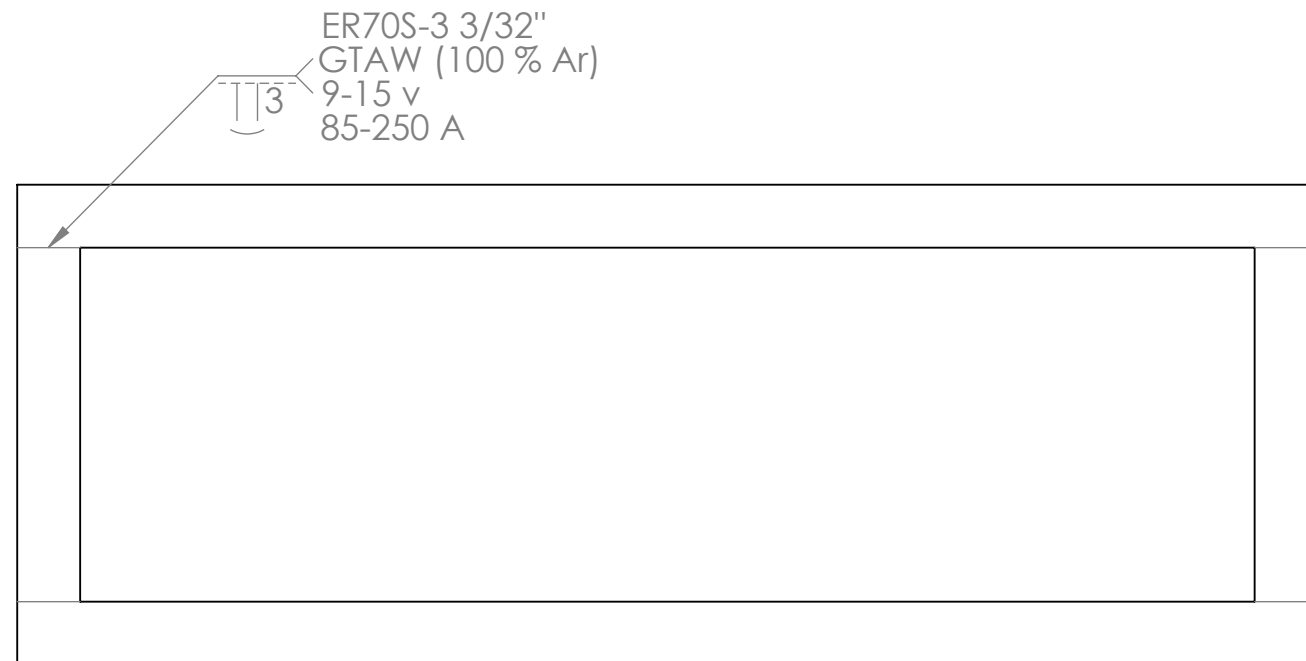


VISTA FRONTAL ESCALA 2 : 5

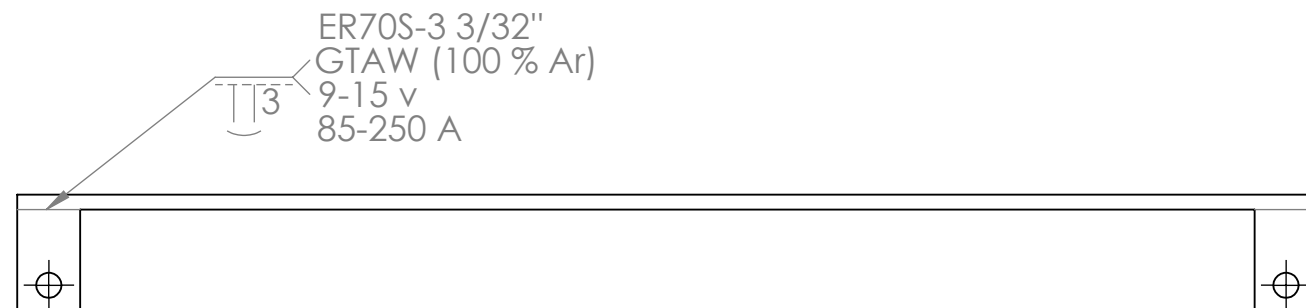


VISTA LATERAL ESCALA 2 : 5

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA			
EMPRESA: PRODUCTOS DERIVADOS DEL METAL S.R.L		TITULO: Implementación del diseño de un aislador térmico en el proceso de soldadura por mantequillado con níquel en barras de cobre para optimizar la producción en la empresa Prodermet SRL..2023	
ASESOR: M. SC. Ing. ARTURO MACEDO SILVA		PLANO: SOLDADURA MARCO METÁLICO SUPERIOR A	ISO A 
DISEÑADO POR: Bachill. DAVID E. YEPEZ PERALTA			
MATERIAL: ACERO ASTM A36	HOJA: SD 02-A3	ESCALA: 2 : 5	FECHA: JUNIO DEL 2025
		UNIDADES: mm	HOJA 2 DE 3



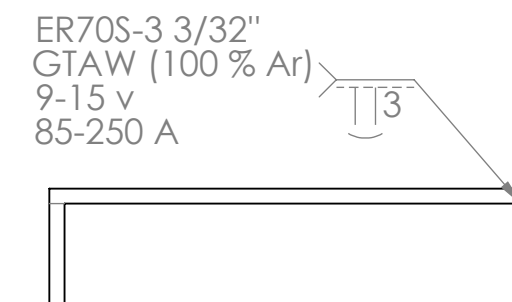
VISTA DE PLANTA ESCALA 2 : 3



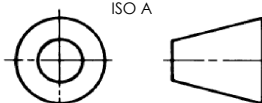
VISTA FRONTAL ESCALA 2 : 3



VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1 : 2



VISTA LATERAL ESCALA 2 : 3

 UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA			
EMPRESA: PRODUCTOS DERIVADOS DEL METAL S.R.L		TITULO: Implementación del diseño de un aislador térmico en el proceso de soldadura por mantequillado con níquel en barras de cobre para optimizar la producción en la empresa Prodermet SRL...2023	
ASESOR: M. SC. Ing. ARTURO MACEDO SILVA		PLANO: SOLDADURA MARCO METÁLICO SUPERIOR B	ISO A 
DISEÑADO POR: Bachill. DAVID E. YEPEZ PERALTA			
MATERIAL: ACERO ASTM A36	HOJA: SD 03-A3	ESCALA: 2 : 3	FECHA: JUNIO DEL 2025
		UNIDADES: mm	HOJA 3 DE 3