



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UN HORNO A GAS PARA
EL TRATAMIENTO TÉRMICO DE ESTADORES EN LA
EMPRESA SIPROELECTRIK S.A.**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

AUTORES:

Stalin David Toapanta Quinatoa
Michael Stiven Vichicela Rocha

TUTOR:

Ing. Jefferson Alberto Porras Reyes

LATACUNGA, AGOSTO 2024



Quito, 14 de agosto 2024

UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI

Presente.

Por este medio, la empresa **SIPROELECTRIK S.A.** extiende su más sincero agradecimiento por la implementación de su proyecto de tesis titulado "**Desarrollo y Aplicación de un Horno a Gas para el Tratamiento Térmico de Estatores en la Empresa SIPROELECTRIK S.A.**", llevado a cabo por los estudiantes de ingeniería Electromecánica Toapanta Quinatoa Stalin David y Vichicela Rocha Michael Stiven.

Queremos expresar nuestra plena conformidad con los resultados obtenidos y con la implementación de la tecnología propuesta. Su esfuerzo y dedicación en la investigación y desarrollo de este horno a gas han proporcionado una solución técnica eficiente y efectiva, que se alinea perfectamente con las necesidades del área electromecánica de nuestra empresa.

El nuevo sistema de tratamiento térmico no solo ha optimizado nuestros procesos de secado de estatores, sino que también ha mejorado significativamente la calidad del producto final, permitiéndonos incrementar la eficiencia operativa y reducir costos. Esto representa un gran avance para nuestra área electromecánica y refuerza nuestro compromiso con la innovación tecnológica.

Por lo tanto, reiteramos nuestro agradecimiento y extendemos nuestro apoyo para futuras colaboraciones en proyectos que impulsen el desarrollo tecnológico y la mejora continua en nuestras operaciones.

Sin otro particular por el momento, nos despedimos atentamente.

Atentamente:



Ing. Homero Simbaña
Gerente general
SIPROELECTRIK S.A.
0985673094

servicioalcliente@siproelectrik.com

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Nosotros, Toapanta Quinatoa Stalin David con cédula de ciudadanía No. 050445458-8 y Vichicela Rocha Michael Stiven con cédula de ciudadanía No. 050342914-4, declaramos ser autores de la presente propuesta **“DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UN HORNO A GAS PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO DE ESTADORES EN LA EMPRESA SIPROELECTRIK S.A.”**, siendo Ing. Jefferson Alberto Porras Reyes M.Sc. Tutor del presente trabajo; eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posible reclamos o acciones legales.

Además, Certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en la presente propuesta tecnológica son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, agosto de 2024.

.....
Toapanta Quinatoa Stalin David

C.C: 050445458-8

.....
Vichicela Rocha Michael Stiven

C.C: 050342914-4

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UN HORNO A GAS PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO DE ESTADORES EN LA EMPRESA SIPROELECTRIK S.A.”, de Toapanta Quinatoa Stalin David y Vichicela Rocha Michael Stiven, de la carrera Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la ingeniería y aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto, 2024.



TUTOR
Ing. M.Sc. Porras Reyes Jefferson Alberto
C.C: 070440044-9

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto los postulantes Toapanta Quinatoa Stalin David y Vichicela Rocha Michael Stiven con el Proyecto de Titulación **“DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UN HORNO A GAS PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO DE ESTADORES EN LA EMPRESA SIPROELCTRIK S.A.”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, agosto 2024

Para constancia firman:



.....
Lector 1 (presidente)
Ing. Albarracin Alvarez Mauro Dario
C.C. 050311373-0



.....
Lector 2
Ing. Alban Andrade Efrén Damián
C.C. 050252951-4



.....
Lector 3
Ing. Segundo Angel Cevallos Betun
C.C. 050178243-7

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a mis padres Toapanta Alomoto Rubén Oswaldo y a mi madre Quinatoa Chicaiza Bertha Soledad, por su amor incondicional, apoyo constante y por haberme brindado las herramientas necesarias para alcanzar mis metas. Sin su sacrificio y esfuerzo, no hubiera sido posible llegar hasta aquí.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Ing. Jefferson Porras quien me guió con paciencia y sabiduría durante todo el proceso de investigación y redacción de esta tesis.

Un agradecimiento especial a la empresa Siproelectrik S.A, por brindarme acceso a los recursos necesarios y por su inestimable colaboración durante la realización de esta investigación.

Finalmente, quiero agradecer a todas aquellas personas que, de una u otra forma, contribuyeron al desarrollo de este proyecto, ya sea con su apoyo emocional, intelectual o logístico. A todos ustedes, gracias.

Stalin Toapanta

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, Toapanta Alomoto Rubén Oswaldo, a mi madre Quinatoa Chicaiza Bertha Soledad, quienes con su amor, sacrificio y ejemplo me han enseñado el valor del esfuerzo y la perseverancia. A ustedes, que siempre han creído en mí, este logro es tanto mío como suyo. Los amo.

A mis hermanos Jhonatan, Pilar, Adriana y Rubí, por estar a mi lado en cada paso de este camino, brindándome su apoyo incondicional y su amor inquebrantable. Gracias por ser mi mayor motivación.

Stalin Toapanta

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, por todas las bendiciones que me ha regalado y por ser mi guía constante en cada paso de este camino. Sin Su infinita sabiduría y amor, este logro no habría sido posible.

Mi más profundo reconocimiento es para mi hermana Nicole, por su inquebrantable apoyo, confianza y amor. Gracias por ser mi pilar y por estar a mi lado en cada momento, brindándome la fuerza necesaria para seguir adelante. Asimismo, a mi abuelita Margarita, quien siempre ha estado presente en mi vida, en cada instante que la he necesitado. Tu amor y apoyo incondicionales han sido un faro de luz en los momentos más difíciles. Del mismo modo, expreso mi gratitud a toda mi familia, por empujarme a no quedarme en el camino, por sus palabras de aliento y por creer en mí, incluso cuando yo dudaba. Este logro es tanto mío como de ustedes. A Jenifer, por su cariño, paciencia, y compañía en las noches largas y en los momentos altos y bajos de mi carrera. Tu presencia ha sido fundamental para que hoy pueda llegar hasta aquí.

Finalmente, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a los docentes de la carrera de Ingeniería Electromecánica, quienes con su dedicación y conocimiento han contribuido significativamente a mi formación. En especial, al Ingeniero Jefferson Porras, mi tutor académico, por su orientación, apoyo y por compartir su experiencia durante este proceso.

Michael Vichicela

DEDICATORIA

A mi amada madre, Laura Rocha, a quien dedico este trabajo con todo mi corazón. Tus sacrificios, tu inquebrantable fortaleza, y tu amor incondicional han sido la luz que me ha guiado en los momentos más oscuros. Eres una mujer admirable, fuerte, y trabajadora, cuyo inmenso corazón ha sido mi refugio y mi inspiración. No hay palabras que puedan expresar la profunda gratitud y admiración que siento por ti. Eres lo más valioso que tengo en esta vida, y sin ti, nada de lo que he logrado sería posible. Este logro es tuyo, mamá, por todo lo que eres y todo lo que has hecho por mí.

Michael Vichicela

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TÍTULO: “DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UN HORNO A GAS PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO DE ESTADORES EN LA EMPRESA SIPROELECTRIK S.A.”

Autores: Toapanta Quinatoa Stalin David

Vichicela Rocha Michael Stiven

Tutor: Porras Reyes Jefferson Alberto

RESUMEN

El presente proyecto aborda el tema “Desarrollo y aplicación de un horno a gas para la empresa SIPROELECTRIK”, la misma se dedica a brindar servicios de mantenimiento a motores, generadores y equipos electromecánicos a nivel nacional. La necesidad surge debido a la ausencia de un proceso automatizado para el tratamiento térmico de estadores, dicho proceso se lo realizaba de manera artesanal. La finalidad principal de esta propuesta es la repotenciación del horno, mejorando su aislamiento térmico e implementando sistema de control de tiempo y temperatura On/Off, utilizando nuevas tecnologías. Se utilizó el método científico para el dimensionamiento y elección de los componentes electromecánicos que constituyen el horno a gas. La potencia calorífica necesaria para el sistema es de 4417,77 W la cual es proporcionada por un quemador en forma de C. Para la medición de temperatura dentro de la cámara del horno se utilizó un termopar tipo J con la cual junto al controlador INV - 12411 permiten mantener una temperatura uniforme y controlada de 0 - 200 °C. Además, el controlador cuenta con un sistema de alarma para indicar que el tiempo de tratamiento térmico ha terminado. Con la repotenciación de este horno se logró optimizar el tiempo promedio de secado de 20 minutos, brindando al trabajador una forma más fácil y segura para el tratamiento térmico de estadores. Por otra parte, se logró el uso eficiente de recursos como el GLP ahorrando el consumo en un 62,8%. Económicamente la empresa ahorra 34,54 \$ al mes de lo que cuesta una recarga de una bombona. Con la adecuada regulación de oxígeno en la entrada del quemador la emisión de CO_2 se ha reducido considerablemente. Al limitar el flujo de GLP se reduce el consumo de gas asegurando una combustión más completa y limpia lo que reduce las emisiones contaminantes.

Palabras clave: Estadores, Tratamiento térmico, Control, Temperatura, Tiempo, Horno a gas, Quemador

COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING SCIENCES AND APPLIED FACULTY

TOPIC: “DEVELOPMENT AND APPLICATION TO GAS FURNACE FOR THE STATORS HEAT TREATMENT AT SIPROELECTRIK S.A.”.

Authors: Toapanta Quinatoa Stalin David
Vichicela Rocha Michael Stiven

Tutor: Porrás Reyes Jefferson Alberto

Abstract:

The current project addresses the topic “Development and application to gas furnace for the SIPROELECTRIK enterprise”, same is dedicated to providing maintenance services for motors, generators and electromechanical equipment nationwide. The need arises, due to the lack an automated process for the stator’s thermal treatment, said process was performed in an artisanal manner. The main purpose this proposal is to repower the oven, improving its thermal insulation and implementing an on/off time and temperature control system, using new technologies. It was used the scientific method for the electromechanical components sizing and selection, what contribute the gas oven. The necessary calorific power for the system is 4417,77 W, which is provided by a C-shaped burner. For the temperature measurement inside the furnace chamber, it is used a J-type thermocouple, with which together to the INV - 12411 controller allows maintaining a uniform and controlled temperature 0 - 200 °C. Further, the controller counts an alarm system for indicating, what the heat treatment time has ended. With the repowering this oven, itn was reached optimize the drying time by 20 minutes, by providing the worker an easier and safer form for the stator’s treatment. On the other hand, it was achieved the resources efficient use, such as GLP saving consumption by 62.8%. Economically, the enerprise saves \$34.54 to the month of what cost a cylinder surcharge charging. With the oxygen appropriate regulation at the burner inlet, the CO_2 emission has been considerably reduced. By limiting the GLP flow, it is reduced gas consumption, ensuring a more complete and clean combustion, which reduces polluting emissions.

Keywords: Stators, heat treatment, control, temperature, time, gas furnace, burner.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés de la propuesta tecnológica cuyo título versa: **“DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UN HORNO A GAS PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO DE ESTADORES EN LA EMPRESA SIPROELECTRIK S.A.”** presentado por: **Toapanta Quinatoa Stalin David y Vichicela Rocha Michael Stiven** egresados de la Carrera de: **Ingeniería Electromecánica**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, Agosto del 2024.

Atentamente,

Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CC: 0502666514



INDICE GENERAL

1. INFORMACION GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	2
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	3
2.3.1 OBJETO DE INVESTIGACIÓN:	3
2.3.2 CAMPO DE ACCIÓN:.....	3
2.4 BENEFICIARIOS	3
2.4.1 DIRECTO	3
2.4.2 INDIRECTO	3
2.5 JUSTIFICACIÓN	3
2.6 OBJETIVOS	4
2.6.1 GENERAL.....	4
2.6.2 ESPECÍFICOS.....	4
2.5 SISTEMAS DE TAREAS.....	5
3. MARCO TEÓRICO.....	6
3.1 ANÁLISIS DE LOS TRABAJOS PRECEDENTES	6
3.2 PROCESO PARA EL SECADO DE ESTADORES	6
3.3 HORNOS INDUSTRIALES	6
3.4 TIPOS DE HORNOS INDUSTRIALES	7
3.3.1 HORNOS DE REVERBERO	7
3.3.2 HORNOS ROTATIVOS	7
3.3.3 HORNOS DE CRISOL.....	8
3.3.4 HORNO ELÉCTRICO	8
3.3.5 HORNO INDUSTRIAL A GAS	9
3.4 DESCRIPCIÓN DEL HORNO A GAS	10
3.5 CONTROLADOR INV – 12411	11
3.5.1 CARACTERÍSTICAS	11
3.5.2 FUNCIONAMIENTO	12
3.5.3 APLICACIÓN EN HORNOS INDUSTRIALES	12
3.6 BARNIZ DE AISLAMIENTO	13
3.6.1 TIPOS DE BARNICES SEGÚN SU APLICACIÓN	13
3.6.2 PROCESO PARA EL BARNIZADO DE ESTADORES.....	14
3.7 SISTEMA DE CALENTAMIENTO	14
3.8 TUBERÍA DE ADMISIÓN	15
3.9 FUENTE DE COMBUSTIBLE	15
3.9 TERMOPAR.....	16
3.9.1 TIPOS DE TERMOPAR.....	16

3.9.2 LINEALIZACIÓN DE LOS TERMOPAR.....	17
3.10 SENSOR DE LLAMA	17
3.12 VÁLVULA DE PASO DE GAS.....	19
3.13 GENERADOR DE LLAMA.....	19
3.14 PLANCHAS DE ACERO GALVANIZADO.....	20
3.15 FIBRA DE VIDRIO.....	20
3.16 MÓDULO DE IGNICIÓN EUS 03.2.10.8.....	21
4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	22
4.1 TIPOS DE INVESTIGACIÓN	22
4.1.1 INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL.....	22
4.1.2 INVESTIGACIÓN DE CAMPO	22
4.1.3 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL	22
4.2 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	22
4.2.1 MÉTODO CIENTÍFICO	22
4.2.2 TOMA DE DATOS EN LA EMPRESA	22
4.2.2 MÉTODO DE OBSERVACIÓN.....	23
4.3 TÉCNICAS.....	23
4.4 VARIABLES DE MEDICIÓN.....	23
4.5 HERRAMIENTAS Y EQUIPOS DE MEDICIÓN.....	23
4.6 PROCESO DE CÁLCULO PARA EL DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DEL HORNO.	24
4.6.1 ESPECIFICACIONES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL QUEMADOR.....	24
4.7 ECUACIONES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL QUEMADOR Y SU AISLAMIENTO TÉRMICO.	24
4.7.1 ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL QUEMADOR	24
4.7.2 ECUACIÓN PARA DETERMINAR EL CALOR REQUERIDO POR EL SISTEMA ..	26
4.8 ECUACIÓN PARA LAS PÉRDIDAS DE CALOR POR CONDUCCIÓN	27
4.8.1 ECUACIÓN PARA EL CALOR ACUMULADO EN LAS PAREDES.	28
4.10 PERDIDAS DE CALOR POR RADIACIÓN.....	32
4.11.1 CALCULO PARA EL VOLUMEN DEL MOTOR	33
4.11.2 ECUACIÓN PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MOTOR.....	33
4.12 ECUACIÓN PARA EL CÁLCULO DE LA POTENCIA TOTAL.....	34
4.13 ECUACIÓN PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL ELEMENTO TERMOMAGNÉTICO (BREAKER)	34
4.23 CÁLCULO DEL ÁREA SUPERFICIAL DEL ESTATOR.....	34
4.24 VOLUMEN DE BARNIZ APLICADO.....	35
4.25 MASA DEL BARNIZ APLICADO.....	35
4.26 ENERGÍA NECESARIA PARA CALENTAR EL ESTATOR	35
4.27 ENERGÍA NECESARIA PARA EVAPORAR EL SOLVENTE.....	36
4.28 TIEMPO TOTAL DEL SECADO.....	36
5 ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	36

5.1 RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS ECUACIONES	36
5.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	43
5.3 CURVA DE LA TEMPERATURA EN FUNCIÓN AL TIEMPO.....	44
5.4 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ANTERIOR Y NUEVO HORNO.....	44
5.5 PRESUPUESTO REFERENCIAL	45
5.5.1 GASTOS DE EJECUCIÓN	45
5.5.2 COSTOS INDIRECTOS.....	48
5.5.3 COSTO TOTAL DE INVERSIÓN	48
5.6 TIR Y VAN	48
5.7 ANÁLISIS ECONÓMICO QUE GENERA EL NUEVO HORNO.....	50
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
6.1 CONCLUSIONES	51
6.2 RECOMENDACIONES.....	52
7. REFERENCIAS	53

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.Horno de reverbero [3].....	7
Figura 2. Horno rotativo [4]	8
Figura 3. Horno de crisol [5]	8
Figura 4.Horno eléctrico [6].....	9
Figura 5.Horno industrial a gas [8].....	10
Figura 6. Controlador INV-12411 [9].....	11
Figura 7. Quemador tipo U.....	15
Figura 8. Diagrama unifilar de la tubería de admisión [12]	15
Figura 9.Termocupla [13].....	16
Figura 10. Linealización de las termocuplas [15].....	17
Figura 11. Sensor de llama 1[16].....	18
Figura 12. Electroválvula de gas.	19
Figura 13. Válvula de paso de gas de 3kg/h 2[18]	19
Figura 14. Sensor de chispa [16]	20
Figura 15. Hoja de acero galvanizado [21].....	20
Figura 16. Aislante térmico3 [22].....	21
Figura 17. Módulo de ignición	21
Figura 18. Transferencia de calor a través de las paredes.	27
Figura 19. Circuito de resistencias [26].....	27
Figura 20. Comportamiento de la temperatura en el horno industrial a gas.....	44

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistema de tareas.....	5
Tabla 2. Propiedades del G.L.P	16
Tabla 3. Tipos de termocuplas	17
Tabla 4. Espectro visible.....	18
Tabla 5. Toma de datos en la empresa	23
Tabla 6. Herramientas y equipos de medición.....	24
Tabla 7. Especificaciones del material de cobre a 200 °C.....	24
Tabla 8. Resultados del cálculo para el diseño del quemador y las protecciones del circuito .	37
Tabla 9. Resultados de los cálculos para las pérdidas por conducción y calor acumulado en las paredes	38
Tabla 10. Datos obtenidos de la interpolación a $T_m = 314.65 \text{ K}$	38
Tabla 11. Resultado del cálculo para las pérdidas de calor por convección libre o natural.	39
Tabla 12. Resultados calculados para las pérdidas de radiación y energía requerida por el sistema	40
Tabla 13. Elementos a utilizar según sus especificaciones. [Revisar Anexos].....	43
Tabla 14. Comparación de tiempo y temperatura.....	45
Tabla 15. Costos directos.....	46
Tabla 16. Costos indirectos.....	48
Tabla 17, Costo total de inversión	48
Tabla 18. Ingresos de la empresa en los últimos 5 años	49
Tabla 19. egresos de la empresa en los últimos 5 años.....	49
Tabla 20. TIR y el VAN	50

1. INFORMACION GENERAL

Tema del proyecto:

Desarrollo y aplicación de un horno a gas para el tratamiento térmico de estatores en la empresa SIPROELECTRIK S.A.

Modalidad de Titulación:

Propuesta tecnológica.

Carrera:

Electromecánica

Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto:

Uso eficiente de la energía en sistemas electromecánicos en el sector industrial y comunitario del país.

Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:

Autor 1:

Nombres: Stalin David
Apellidos: Toapanta Quinatoa
Cedula de identidad: 0504454588
Email: stalin.toapanta4588@utc.edu.ec

Autor 2:

Nombres: Michael Stiven
Apellidos: Vichicela Rocha
Cedula de identidad: 0503429144
Email: michael.vichicela9144@utc.edu.ec

Tutor:

Nombres: Jefferson Alberto
Apellidos: Porras Reyes
Cedula de identidad: 0704400449
Email: jefferson.porras0449@utc.edu.ec

Área de Conocimiento:

Área: Ingeniería, industria y construcción. (UNESCO-Manual-SNIESE-SENES, 2019)

Subárea: 52 Ingeniería y profesiones afines. (UNESCO-Manual-SNIESE-SENES)

Subárea específica de conocimiento: 3 Dibujo técnico, mecánica, metalistería, electricidad, electrónica, telecomunicaciones, ingeniería energética y química. (UNESCO-Manual-SNIESE-SENES)

Línea de investigación de la universidad:

Línea 4: Procesos industriales

Sublíneas de investigación de la Carrera:

Línea 3: Eficiencia energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía

2. INTRODUCCIÓN

En la actualidad las empresas dedicadas al mantenimiento y reparación de motores y generadores hacen uso de hornos industriales para el secado de rotores y estatores.

La empresa SIPROELECTRIK S.A. contaba con un horno de uso industrial, el cual no disponía de un control de temperatura, la forma en la que se realizaba el secado de los estatores era demasiado rustico. Se utilizaba un soplete como fuente de calor el cual no era controlado y perjudicaba el proceso de secado como también su estructura, además existían fugas de calor por el mal estado del aislamiento térmico. En este trabajo se pretende realizar el diseño e implementación de un sistema de control de temperatura On/off en el horno industrial, el dimensionamiento del quemador para obtener una fuente calorífica adecuada para un secado uniforme de los rotores, estatores y la repotenciación de su aislamiento térmico.

2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La empresa tenía pérdidas económicas y de tiempo de operación debido al mal estado del aislamiento térmico del horno y su deficiente sistema de generación de calor, ya que este era un soplete el cual no proporcionaba una fuente de calor uniforme y generaba demasiado hollín por estas razones los rotores y estatores no tenían un adecuado tratamiento térmico.

La implementación del sistema de control de temperatura On/off y repotenciación de su aislante térmico, brinda una mejora en el tiempo y las actividades laborales de la empresa, teniendo un secado uniforme y controlado así mismo una mejora en la parte económica y reducción de CO_2 satisfaciendo las necesidades de los clientes.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo incide la falta de desarrollo tecnológico un horno industrial para el secado de rotores y estatores en una empresa que brinda servicios de reparación y mantenimiento de motores eléctricos, generadores, transformadores, entre otros servicios?

2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1 OBJETO DE INVESTIGACIÓN:

Sistema de control de temperatura On/off y aislamiento térmico en un horno industrial a gas.

2.3.2 CAMPO DE ACCIÓN:

3311.05 Equipos Eléctricos de Control

2.4 BENEFICIARIOS

2.4.1 DIRECTO

Los principales beneficiarios del desarrollo y aplicación de un horno a gas son: La empresa y todo el personal que labora en la misma y los tesistas.

2.4.2 INDIRECTO

Los clientes que acude a la empresa para la solución de algún problema relacionado con el tema. Y el medio ambiente reduciendo así la emisión de CO_2 .

2.5 JUSTIFICACIÓN

Existe un desafío importante en el proceso de secado de estatores debido al deterioro del horno y la ausencia de un sistema de control de temperatura. Este horno funcionaba de una manera artesanal, basado en un soplete el cual no tenía ningún tipo de control, por lo cual el personal encargado de esta área tenía que estar pendiente del secado del barniz en los rotores y estatores de una manera presencial y constante, causando esto una pérdida significativa de tiempo y poniendo en riesgo al personal de trabajo.

Esta propuesta tecnológica buscó dar solución a este problema mediante la repotenciación, el desarrollo y aplicación de un control de tiempo y temperatura en un horno a gas, permitiendo así el secado uniforme y controlado del barniz en los rotores y estatores, optimizando el proceso de secado, la productividad y la calidad del producto. Además, se minimiza el desperdicio de recursos y el riesgo al personal de trabajo.

La implementación de este sistema de control, permite abrir paso hacia nuevas tecnologías con respecto al control de temperatura en hornos industriales para el tratamiento térmico de estatores y mejorando la competitividad en el mercado. El desarrollo de este horno no solo beneficia a la empresa, sino también aporta conocimientos valiosos al campo de la ingeniería electromecánica, ofreciendo un proyecto innovador que podría ser replicado en otras industrias.

2.6 OBJETIVOS

2.6.1 GENERAL

- Desarrollar el funcionamiento del horno a gas para el tratamiento térmico de rotores y estatores en la empresa SIPROELECTRIK SA, mediante la repotenciación de un nuevo aislamiento térmico y la integración de un sistema de control de temperatura On/Off, con el fin de mejorar la eficiencia energética, la uniformidad del proceso térmico y la calidad del producto.

2.6.2 ESPECÍFICOS

- Recopilar información bibliográfica relevante en diversas revistas científicas y técnicas sobre el desarrollo de hornos industriales para adquirir mayor conocimiento acerca del tratamiento térmico de rotores y estatores.
- Implementar un sistema de control de temperatura y tiempo, repotenciar el aislamiento térmico en el horno industrial, utilizando diferentes técnicas para optimizar el tiempo de secado, mejorar la economía de la empresa.
- Verificar el horno industrial mediante pruebas de campo en el área de trabajo para el tener un correcto funcionamiento del secado de rotores y estatores.

2.5 SISTEMAS DE TAREAS

En la tabla 1 podemos observar las actividades realizadas en base a los objetivos específicos.

Tabla 1. Sistema de tareas

Objetivos específicos	Actividades	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Recopilar información bibliográfica relevante en diversas revistas científicas y técnicas sobre el desarrollo de hornos industriales para adquirir mayor conocimiento acerca del tratamiento térmico de rotores y estatores.	Revisión bibliográfica en revistas, libros, documentos en línea. Comparación teórica de la revisión bibliográfica.	Adquisición de nuevos conocimientos acerca del tema establecido. Decisión de la información bibliográfica a utilizar.	Registros de bibliografías revisadas. Utilización de nuevas tecnologías.
Implementar un sistema de control de temperatura y tiempo, repotenciar el aislamiento térmico en el horno industrial, utilizando diferentes metodologías para optimizar el tiempo de secado, mejorar la economía de la empresa y mitigar el impacto ambiental.	Elaboración de un sistema de control de temperatura para un horno industrial. Diseño del quemador para es secador de estores. Reemplazo de componentes estructurales y de aislamiento térmico del horno.	Análisis de los parámetros para el diseño del quemador. Planos eléctricos y de control. Lista de materiales	Uso de normas establecidas Diseño de planos en un software CAD. Uso de herramientas electromecánicas para el montaje del horno.
Verificar el funcionamiento del horno industrial mediante pruebas de campo en el área de trabajo para el tener un correcto funcionamiento del secado de rotores y estatores.	Puesta en funcionamiento y repotenciación industrial del horno.	Correcto funcionamiento y toma de datos.	Aplicación de los distintos elementos de protección para el correcto funcionamiento.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 ANÁLISIS DE LOS TRABAJOS PRECEDENTES

En la industria se puede encontrar una gran variedad de procesos donde se requiere una acción de control e instrumentación para encontrar la condición optima de trabajo, en este proyecto, nos vamos a enfocar en los procesos térmicos. Podemos encontrar hornos en diversos rubros y categorías, cada uno de diferente tamaño y potencia, es por esto que estos equipos requieren de un control sintonizado específicamente diseñado para cada uno de ellos si se busca que trabajen en las mejores condiciones de control, en otros casos, encontramos con sistemas sin realimentación o en su defecto con control On/Off.

En el sistema a gas, los quemadores de llama sustituyen las resistencias; por lo tanto, una válvula regula el caudal del fluido combustible sustituyendo los tiristores. Se utilizará una válvula mariposa que, según la señal del controlador, controlará la apertura de la válvula.[1]

3.2 PROCESO PARA EL SECADO DE ESTADORES

Se puede seguir el siguiente orden para llevar a cabo el procedimiento de secado de estadores:

1. Preparación para el barniz: Retira la humedad, libera tensiones concentradas, retira el barniz gastado y prepara el bobinado para recibirlo.
2. Barnizar: con goteo, espray o inmersión. Para que el nuevo barniz se impregne mejor, si es por inmersión, dejar el estator sumergido durante un tiempo a una temperatura de 60 °C.
3. Escurrir: Dejar que el barniz sobrante salga del estator después de suspenderlo al aire libre durante 15 a 30 minutos.
4. Horneado/curado: Colocar el estator en el horno a una temperatura especificada por el fabricante del barniz o resina y por un tiempo.

3.3 HORNOS INDUSTRIALES

En varios procesos industriales, los hornos juegan un papel crucial al aplicar calor controlado para alterar las características de los materiales y las piezas. Estos equipos tienen la capacidad y la potencia más alta que los hornos de uso doméstico; pueden manejar grandes volúmenes de producción y alcanzar temperaturas extremas.

Son aparatos destinados a realizar procesos industriales como calentar, secar, fundir y endurecer, entre otros. La metalurgia, la fundición, la cerámica, la automotriz, la aeroespacial, la construcción, los refractarios, la electrónica y muchas otras industrias las utilizan.[2]

3.4 TIPOS DE HORNOS INDUSTRIALES

De acuerdo con su tipo de energía y su método de procesamiento, existen varios tipos de hornos industriales:

- Horno de reverbero
- Horno rotativo
- Horno de Crisol
- Horno eléctrico
- Horno industrial a gas

3.3.1 HORNOS DE REVERBERO

En la Figura 1. La estructura del horno de reverbero, suele ser rectangular, tiene una bóveda de ladrillo refractario y una chimenea. Los hornos de reverbero tienen una capacidad muy variada, que va de los 45 kilogramos a los 1000 kilogramos para los trabajadores que fusionan metales no féreos, hasta los 80 kilogramos para los trabajos más grandes.[3]

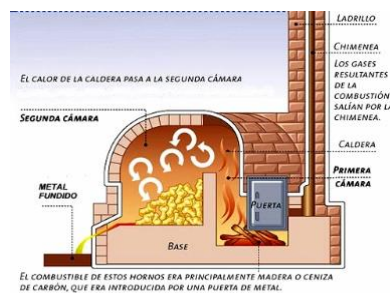


Figura 1. Horno de reverbero [3]

3.3.2 HORNOS ROTATIVOS

La envoltura cilíndrica de acero de los hornos rotativos tiene un eje sensiblemente horizontal y termina con dos estructuras, una en cada extremo. El quemador se encuentra en uno de los extremos y la salida de los gases quemados en el otro. Los gases quemados suelen pasar por un sistema de recuperación de calor para precalentar el aire de soplado antes de ser evacuados por la chimenea. Un material refractario cubre todo el interior del horno. Es posible que el

combustible sea gasolina, gasoil o carbón pulverizado.[3] Como se muestra en la Figura 2. Horno rotativo.



Figura 2. Horno rotativo [4]

3.3.3 HORNOS DE CRISOL

Una vez cargados y cerrados, se caldean en los llamados hornos de crisoles, utilizando como calefactor gas, gasoil o electricidad. Los crisoles son recipientes de arcilla mezclada con grafito y otras sustancias, con una tapa para cierre hermético. Uno de los métodos más antiguos y sencillos para fabricar metales es la fusión en crisoles; además, es muy probable que siempre se utilice debido a la economía de su instalación, especialmente para fundir cantidades pequeñas. Se construyen hornos de crisoles para calentar un solo crisol, cuya parte superior sobresale del horno. El caldo se extrae con una cuchara en los hornos fijos, pero también se pueden construir hornos de crisol basculantes. En aquellos que la colada es más fácil. Los hornos de crisol, tanto fijos como basculantes, tienen la ventaja de que la carga queda completamente aislada y, por lo tanto, su composición no se ve afectada por los gases que se producen durante la combustión.[3] En la Figura 3 se puede observar el horno de crisol.



Figura 3. Horno de crisol [5]

3.3.4 HORNO ELÉCTRICO

En la Figura 4 el horno eléctrico es visible y puede alcanzar temperaturas extremadamente altas (hasta 3.500 °C en algunos modelos). La velocidad de elevación de la temperatura puede ser regulada y mantenerse entre límites muy precisos, con regulaciones totalmente automáticas. La contaminación del gas combustible se elimina por completo de la carga. La atmósfera puede

ser perfectamente regulada cuando está en contacto con la masa fundida; puede ser reductora u oxidante a su voluntad; incluso en algunos hornos puede funcionar en vacío. Los revestimientos son más duraderos que los demás tipos. Se colocan en un área limitada. Otros tipos de hornos requieren una mayor higiene en su operación.[3]



Figura 4.Horno eléctrico [6]

3.3.5 HORNO INDUSTRIAL A GAS

La combustión de gas produce calor en su interior, lo que permite que la temperatura se distribuya uniformemente y rápidamente.

Se han creado varios tipos de hornos industriales de gas para satisfacer las demandas de cada sector. Los hornos de convección, por ejemplo, tienen ventiladores que distribuyen el calor de manera uniforme, lo que posibilita una cocción mucho más exacta y homogénea. Los profesionales de la cocina prefieren los hornos mixtos porque, al combinar la convección con la generación de vapor, mantienen la humedad y hacen que los alimentos queden más jugosos. Los hornos de infrarrojos, por otro lado, emplean la radiación para calentar de manera más efectiva y directa.

Estos hornos industriales pueden funcionar con gas propano o gas natural en cuanto al gas utilizado. El gas propano te brinda una mayor portabilidad y flexibilidad en lugares donde la red de gas natural no es accesible, mientras que el gas natural es más común y fácil de obtener.

Los hornos industriales de gas tienen una gran capacidad de regulación y una alta eficiencia, lo que les permite adaptarse a una amplia gama de procesos industriales.[7] En la Figura 5 se puede observar el horno industrial a gas.



Figura 5. Horno industrial a gas [8]

Ventajas del horno industrial a gas

- El horno industrial de gas es perfecto para reducir al mínimo el consumo de electricidad
- Despreocuparte de posibles cortes de luz.
- Curado y secado uniforme
- Puede trabajar con altas y bajas temperaturas.

3.4 DESCRIPCIÓN DEL HORNO A GAS

El objetivo del horno industrial a gas para el secado de estatores, que incorporará el sistema de control de temperatura, es brindar un ambiente controlado donde los estatores puedan ser calentados uniformemente para eliminar la humedad y otros contaminantes. Al depender de su uso y diseño, la estructura de un horno de este tipo suele estar compuesta por las siguientes partes:

- **Parte metálica:** Construido con acero inoxidable, material resistente al calor y al desgaste. Aislamiento térmico para la seguridad operativa y la eficiencia energética.
- **Fibra de vidrio:** La fibra de vidrio se utiliza como material aislante en las paredes del horno para reducir la pérdida de calor y aumentar la eficiencia energética. Ayuda a mantener una temperatura interna uniforme y constante, lo cual es fundamental para un secado efectivo.
- **Quemador a gas:** Construido generalmente con acero inoxidable o materiales resistentes a altas temperaturas. Incluye los componentes internos necesarios para que se mezcle aire y gas.
- **Termocupla:** Para mantener la temperatura dentro del horno, se colocan termocuplas en diferentes lugares. Provea retroalimentación continua al sistema de control del horno, lo que permite ajustar el sistema de calefacción de manera precisa para mantener una temperatura uniforme.

3.5 CONTROLADOR INV – 12411

La Figura 6 muestra el controlador de temperatura INV–12411, que se emplea en aplicaciones industriales para regular y mantener la temperatura de sistemas, como los hornos, que se utilizan para el secado de estatores.



Figura 6. Controlador INV-12411 [9]

3.5.1 CARACTERÍSTICAS

Pantalla y Configuración

Pantalla digital: Con frecuencia tiene una pantalla digital que muestra la temperatura y los valores de configuración actuales.

Interfaz usuario: Para ajustar la temperatura y otras configuraciones.

Sensores compatibles

Entradas para sensores: Varios tipos de sensores de temperatura, incluidos termocuplas y RTDs, son compatibles.

Tipos de termocuplas: Puede admitir diferentes tipos de termocuplas (por ejemplo, tipo K, tipo J, tipo T, etc.).

Salidas de control

Salidas del relé: Para encender o apagar dispositivos de calefacción o refrigeración.

Salidas analógicas: Para proporcionar señales a controladores proporcionales o inversores.

Modos de control

On/Off: Control básico que enciende y apaga el dispositivo de calefacción al alcanzar ciertos umbrales de temperatura.

Funciones adicionales

Alarmas: Programables para alertar sobre condiciones de temperatura fuera de los límites establecidos.

Calibración: Opciones de calibración para asegurar la precisión del sensor y del controlador.

3.5.2 FUNCIONAMIENTO

Medición de temperatura: La termocupla o RTD, un sensor de temperatura, mide la temperatura actual del entorno o del objeto a controlar y transmite una señal al controlador.

Procesamiento de la señal: La temperatura medida se compara con la temperatura deseada (setpoint). Para determinar la acción correctiva necesaria, utilice el algoritmo de encendido/apagado.

Acción de control: El controlador envía una señal para apagar o encender el dispositivo de refrigeración o calefacción. Puede ajustar la potencia del dispositivo de calefacción de manera proporcional en sistemas más sofisticados.

Monitoreo y ajustes: En la pantalla del controlador, los operadores pueden observar la temperatura en tiempo real. Se pueden ajustar manualmente la temperatura y otros parámetros de control.

3.5.3 APLICACIÓN EN HORNOS INDUSTRIALES

Secado de los estatores: El horno mantiene una temperatura constante y uniforme para asegurar un secado uniforme y efectivo de los estatores. Proteger el equipo del horno y los estatores ayuda a evitar el sobrecalentamiento.

Proceso de tratamiento térmico: Realiza pruebas de componentes electrónicos durante la producción y mantiene las temperaturas ideales.

Industria Alimentaria: Regula la temperatura durante los procesos de secado y conservación de los alimentos.

3.5.4 VENTAJAS

- Precisión
- Flexibilidad
- Seguridad
- Facilidad de uso

El controlador INV – 12411 es una herramienta fundamental para mantener un control de temperatura efectivo y preciso en una variedad de aplicaciones industriales, garantizando la seguridad del personal y del equipo.

3.6 BARNIZ DE AISLAMIENTO

El aislamiento secundario, también conocido como aislamiento de barniz, es una parte crucial del sistema de aislamiento de la máquina eléctrica.

Para fines de impregnación y terminación, se emplean barnices de varios tipos en el sistema de aislamiento de máquinas eléctricas. Los beneficios de estos recubrimientos incluyen:[10]

- Aumento de la rigidez mecánica de los alambres del bobinado
- Mejora de las propiedades dieléctricas
- Mejora de la capacidad de conducción térmica
- Protección del bobinado contra la humedad y el entorno corrosivo químico

3.6.1 TIPOS DE BARNICES SEGÚN SU APLICACIÓN

- Barniz de impregnación
- Barniz de finalizado
- Barniz interlaminar
- Barniz de aglomeración
- Barnices de propósitos especiales

Para el proceso de secado en hornos a gas, es recomendable emplear el método de inmersión para aplicar barniz. Se aplicará el barniz más adecuado según la aplicación que se realice. Debido a sus características técnicas, como se muestra en la Tabla 2, el barniz weg lacktherm 1313 h es el más adecuado para el requerimiento.

Tabla 2. Especificaciones Técnicas del barniz

Descripción	Barniz imp lacktherm 1313
Familia tintas	Lacktherm
Línea productos tintas	Barniz Impregnación
Sistema resina	Poliéster Imida Modificado
Colores	Ámbar Oscuro
Diluyente etq	Diluyente Resin Lacktherm 1102
Clase Térmica	H - 180°C
Componente tinta	Monocomponent
Método aplicación	Inmersión Inmersión Vacío Inundación VPI
Curación	Horno: 6 - 8 horas a 130°C - 150°C
Uso	Motores y generadores de baja y alta tensión, todas las potencias motores herméticos.

Características:

- A temperatura ambiente, la viscosidad es baja.
- La estabilidad de almacenamiento es muy buena en el rendimiento del tanque menor.
- El tiempo de curado es breve a 150 ° C de la temperatura del horno.
- Una penetración muy buena al bobinado

3.6.2 PROCESO PARA EL BARNIZADO DE ESTADORES

1. Precalear el aparato a 110°C.
2. Enfríe el dispositivo a 25 a 40°C.
3. Durante 15 a 30 minutos (hasta que deje de burbujear) coloque las unidades en barniz.
4. De 15 a 30 minutos, escurrir.
5. Se recomienda que se cure en el horno.
6. Refrigeración ligeramente forzada en el flujo de aire de salida.

3.7 SISTEMA DE CALENTAMIENTO

Como se muestra en la Figura 7, se utiliza un quemador atmosférico de gas debido a su economía de operación y su fácil instalación. Para controlar el ingreso del combustible, tiene una tubería en forma de U y una válvula de media vuelta que funcionan juntas.[11]



Figura 7. Quemador tipo U

El dispositivo tipo Venturi, que regula el ingreso de aire, permite obtener los excesos de aire necesarios para una combinación ideal de comburente y combustible.

3.8 TUBERÍA DE ADMISIÓN

La Figura 8 muestra un esquema simplificado de la tubería de admisión, que se refiere a los conductos que conducen el combustible desde la fuente al quemador.

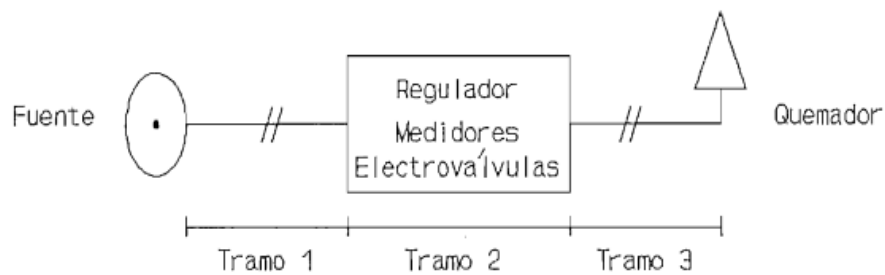


Figura 8. Diagrama unifilar de la tubería de admisión [11]

Debido a la baja presión de trabajo del quemador, se utiliza una manguera de uso doméstico en el primer tramo. Esta manguera puede soportar presiones inferiores a 90 psi. En el segundo paso, se utiliza una tubería de media pulgada de cobre para conectar el regulador, el quemador y la electroválvula, ya que tiene una alta resistencia a la presión hasta de 200 bar. Además, tiene una resistencia a los impactos.[11]

3.9 FUENTE DE COMBUSTIBLE

El combustible seleccionado es el gas licuado de petróleo (G.L.P.), cuyas características son:

- Posee combustión más limpia con respecto a sólidos y líquidos.
- Fácil regulación de la relación aire/combustible.
- Se combustiona casi completamente.
- No requiere precalentamiento.

En el mercado está ampliamente disponible esta fuente de energía calórica (cilindros de 14 Kg. de G.L.P.). Según las zonas de distribución del país, posee las propiedades que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Propiedades del G.L.P

PROPIEDAD	NORTE	SUR	CENTRO	PROM. POND
Poder Calorífico ($Kcal/m^3$)	13501	13252	13955	13403,4
Peso Específico (Kg/m^3)	1149	1101	1133	1117
Peso Molecular ($Kg/Kgmol$)	97	99	99	98,5

3.9 TERMOPAR

Se construye con dos alambres de diferentes materiales unidos en un extremo, como se muestra en la Figura 9. Un voltaje muy pequeño del orden de los milivolts se produce al aplicar temperatura en la unión de los metales, el cual aumenta con la temperatura. Las termocuplas industriales suelen estar encapsuladas en un tubo de acero inoxidable o de otro material. La unión está en uno de sus extremos y el terminal eléctrico de los cables está en el otro, protegido dentro de una caja redonda de aluminio. [12]

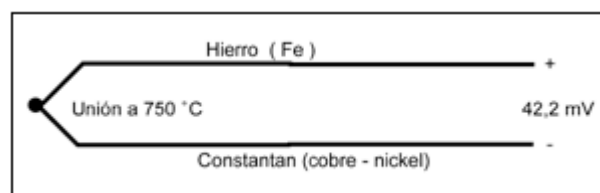


Figura 9. Termocupla [13]

3.9.1 TIPOS DE TERMOPAR

Las termocuplas varían mucho, pero casi el 90% de las que se utilizan son del tipo J o del tipo K. Como se puede ver en la Tabla 4 muestra algunas de las termocuplas más comunes.

Tabla 4. Tipos de termopares

Termocupla	Cable+ Aleación	Cable-Aleación	Temperatura °C	Rango de voltaje
J	Hierro	Cobre/Nickel	(-180, 750)	42,2
K	Nickel/Aluminio	Nickel/Aluminio	(-180, 1372)	54,8
T	Cobre	Cobre/Nickel	(-250, 400)	20,8
R	87%Platino 13% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	21,09
S	90%Platino 10% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	18,68
B	70%Platino 30% Rhodio	94%Platino 6% Rhodio	(0, 1820)	13,814

3.9.2 LINEALIZACIÓN DE LOS TERMOPAR

En la Figura 10 se observa la linealización de los diferentes tipos de termopar.

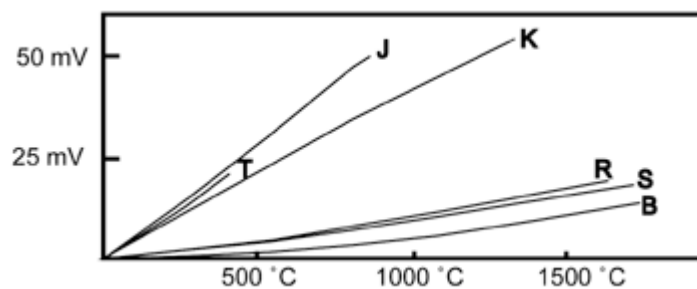


Figura 10. Linealización de las termocuplas [14]

3.10 SENSOR DE LLAMA

Un tipo de sensor llamado detector de llamas es capaz de detectar y responder a la presencia de una llama, como se muestra en la Figura 11. Estos detectores pueden distinguir entre el humo que puede provocar un incendio abierto y el líquido sin humo. A través de la temperatura y el movimiento del aire, estos dispositivos también pueden detectar el fuego. Para detectar las llamas, los detectores de llama emplean tecnología ultravioleta (UV) o infrarroja (IR), lo que significa que pueden avisar de ellas en menos de un segundo. El fotoeléctrico transforma la señal de intensidad radiante de la llama en una señal de tensión relevante; esta señal se procesaría en un microordenador de un solo chip y se convertiría en una salida deseada. Los sensores del detector de llama detectarán la radiación que envía la llama. [12]



Figura 11. Sensor de llama [15]

La combustión del gas licuado de petróleo libera radiaciones monocromáticas dentro del espectro visible. Las longitudes a las que nuestra retina es sensible constituyen la banda angosta del espectro visible; tiene una energía de fotones de 1.6 eV a 3.2 eV y se extiende desde $7,8 \cdot 10^{-7}$ m hasta $3,8 \cdot 10^{-7}$ m. Los colores que se producen en el ojo dependen de la frecuencia de la onda electromagnética y corresponden a los intervalos que se muestran en la Tabla 5. [11]

Tabla 5. Espectro visible

Color	Longitud de onda $\lambda(\text{m})$	Frecuencia $f(\text{Hz})$
Violeta	$3,90 - 4,55 \cdot 10^{-7}$	$7,69 - 6,59 \cdot 10^{14}$
Azul	$4,55 - 4,92 \cdot 10^{-7}$	$6,59 - 6,10 \cdot 10^{14}$
Verde	$4,92 - 5,77 \cdot 10^{-7}$	$6,10 - 5,20 \cdot 10^{14}$
Amarillo	$5,77 - 5,97 \cdot 10^{-7}$	$5,20 - 5,03 \cdot 10^{14}$
Naranja	$5,97 - 6,22 \cdot 10^{-7}$	$5,03 - 4,82 \cdot 10^{14}$
Rojo	$6,22 - 7,80 \cdot 10^{-7}$	$4,82 - 3,84 \cdot 10^{14}$

La luz producida por la combustión del gas licuado de petróleo tiene un tono aproximadamente azul. Los sensores creados con esta idea para detectar la llama. Los elementos fotoelectrónicos que pueden transformar este tipo de energía en información eléctrica incluyen fotodiodos, fototransistores, fotoresistencias y fotocélulas, entre otros.[11]

3.11 ELECTROVÁLVULA

Es posible bloquear o permitir el paso de gas hacia la cámara principal donde se produce la chispa. Según la etapa del proceso, el controlador de llama activa o desactiva la electroválvula. En la Figura 12 podemos observar la electroválvula. Para su uso en equipos de combustión, Brahma fabrica electroválvulas de gas normalmente cerradas (N.C.), modelo E6G. Electroválvula E6G SR10 GMO, con regulación de caudal y 220Vac/50-60Hz. Son válvulas electromecánicas que se activan por medio de una señal eléctrica. Tienen dos posiciones de

operación: bloquean o permiten el paso total de gas disponible en la alimentación hacia la salida.
[16]



Figura 12. Electroválvula de gas.

3.12 VÁLVULA DE PASO DE GAS

Es un regulador de baja presión no ajustable de etapa simple para uso doméstico, basado en los acoplamientos rápidos G.54 que se describen en la UNE-EN 12864; tiene una conexión quick-on de diámetro igual a; está destinado a ser utilizado en cilindros con gas licuado de petróleo.[17]La válvula de paso de gas se la puede observar en la Figura 13.



Figura 13. Válvula de paso de gas de 3kg/h [17]

3.13 GENERADOR DE LLAMA

El sensor de chispa es responsable de generar la llama piloto mediante una señal eléctrica, como se muestra en la Figura 14. [11] El módulo de chispa tiene un voltaje muy alto y un amperaje muy bajo. La chispa producida se utiliza para encender un flujo de gas a baja presión hacia una luz piloto de llama que permanece encendida hasta que se apaga el control termostático del horno. Para encender el gas que fluye a través de la barra del quemador, la llama piloto permanece encendida mientras el horno se enciende y apaga para mantenerlo a la temperatura predeterminada. A razón de dos a cuatro chispas por segundo, el electrodo de chispa genera una chispa continua. Un termostato reduce la energía al módulo de chispa después de que la luz piloto de gas secundario se enciende. Hasta que el horno se apaga, el piloto secundario sigue encendido.[18]



Figura 14. Sensor de chispa [15]

3.14 PLANCHAS DE ACERO GALVANIZADO

La superficie de la Hoja está recubierta con un 55% de aleación de zinc de aluminio. La superficie de la hoja tiene una estrella única, lisa, plana y hermosa, y el color básico es blanco plateado. Debido a su estructura de recubrimiento especial, tiene una resistencia a la corrosión excepcional. La resistencia al calor excepcional de la hoja le permite su uso en ambientes con temperaturas elevadas hasta 315 °C; su vida útil promedio es de 25 años. El recubrimiento puede ser procesado, incluyendo perforación, esquiado y soldado, entre otras operaciones; la conductividad superficial es muy buena. [18] La UNE-EN ISO 1461 es la norma que se emplea en los hornos industriales. Se puede ver la plancha de acero galvanizado en la Figura 15.

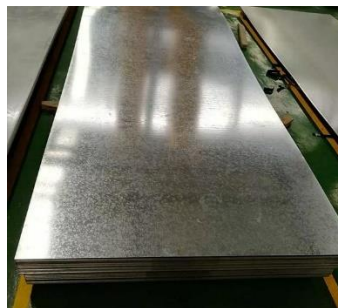


Figura 15. Hoja de acero galvanizado [19]

3.15 FIBRA DE VIDRIO

La fibra de vidrio es un conjunto de hebras de vidrio que se unen para formar una malla completa, como se muestra en la Figura 16. Esta malla, que destaca aquí la construcción, es un material aislante, resistente al calor y listo para ser utilizado en una variedad de situaciones. Se compone de vidrio líquido que ha sido calentado previamente en un horno. Los hilos se unen con la fundición y, cuando están fríos, se crea la malla resistente que deseamos. En el proceso de enfriamiento del vidrio, se suelen agregar ciertas resinas que aumentan la resistencia aún más, a pesar de que ya es un material resistente de por sí. [20] La normativa utilizada para el desarrollo del aislamiento térmico es la ASTM C553.



Figura 16. Aislante térmico [21]

Características

Las características principales de la fibra de vidrio son:

- Resistencia al calor y al fuego: su resistencia al calor es la mayor característica de este material, pues puede aguantar hasta 1000°C.
- Resistencia a golpes: puede aguantar cualquier golpe que pueda recibir durante su tratado y uso en la industria.
- Resistencia química: es capaz de resistir una gran cantidad de ácidos lo que lo convierte en un ideal para durar años y años.
- Ligereza: a pesar de ser muy resistente, es también muy ligero, por lo que es fácil de transportar.
- Nulo mantenimiento: no hace falta prácticamente cuidar de ello ya que sus propias características de resistencia lo hacen capaz de mantenerse solo.
- Económico: el vidrio es un material muy fácil de conseguir y por tanto es muy barato.
- No conduce la electricidad.
- No retiene agua.
- Pues su principal uso es el aislamiento térmico.

3.16 MÓDULO DE IGNICIÓN EUS 03.2.10.8

El módulo de ignición se muestra en la Figura 17. Este dispositivo funciona a 110V y 220V y puede proporcionar hasta 5 voltajes distintos según las necesidades de cada uno.



Figura 17. Módulo de ignición

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.1 TIPOS DE INVESTIGACIÓN

4.1.1 INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL

4.1.2 INVESTIGACIÓN DE CAMPO

4.1.3 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

4.2 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

4.2.1 MÉTODO CIENTÍFICO

Con la previa investigación realizada es necesario emplear el método científico y el análisis para para el desarrollo y aplicación de un horno a gas. Esto permitirá repotenciar el sistema y además de ellos seleccionar los elementos adecuados para el control de temperatura.

Los distintos tipos de investigación empleados anteriormente servirán para optimizar el horno y su sistema de control de temperatura On/off, mediante la obtención del calor necesario para el dimensionamiento del quemador.

Metodología para el diseño:

- Determinación de los materiales y el dimensionamiento del quemador.
- Desarrollo del sistema de control de temperatura y el aislamiento térmico del horno.
- Implementación del sistema de control de temperatura en el horno industrial.

4.2.2 TOMA DE DATOS EN LA EMPRESA

En la Tabla 6 se puede observar los datos obtenidos los cuales servirán para el dimensionamiento del sistema de control de temperatura.

Tabla 6. Toma de datos en la empresa

Variables	Medición
Temperatura ambiente (°C)	18 °C
Humedad del motor (%)	2,12 % (75 hp)
Humedad relativa del ambiente	85%
Voltaje (V)	220 V
Barniz	Weg lacktherm 1313 h
Tiempo del proceso de secado (H)	2-4 Horas

4.2.2 MÉTODO DE OBSERVACIÓN

Considerar detenidamente y sistemáticamente cómo se desarrolla la vida de un objeto social es uno de los métodos que permiten la recolección de información. Por lo tanto, se refiere al conjunto de elementos establecidos para la observación directa de eventos naturales. Dos puntos clave están presentes en esta definición: Primero, indica que los datos se recopilan cuando ocurre el evento, sin que esto signifique que no se pueden grabar o recopilar para su posterior análisis; segundo, indica que el evento no se ha creado, mantenido o concluido únicamente para la investigación, ya que entonces estaríamos hablando del método experimental. [22]

4.3 TÉCNICAS

Como principal técnica se utiliza la observación con la cual se determinan todos los parámetros técnicos para el diseño. Al conocer proyectos similares o del mismo tipo se puede mejorar o innovar en un nuevo desarrollo según sea el requerimiento.

4.4 VARIABLES DE MEDICIÓN

Las variables de medición varían según el barniz a utilizar:

- Temperatura (°C)
- Tiempo (h)

4.5 HERRAMIENTAS Y EQUIPOS DE MEDICIÓN.

En la Tabla 7 se puede observar los equipos y herramientas utilizados para la medición de las variables.

Tabla 7. Herramientas y equipos de medición

Instrumento de medición	Variable	Unidades	Descripción
Termocupla tipo J	Temperatura	°C	Mide la temperatura dentro del horno
Reloj digital	Tiempo	H	Mide el tiempo del proceso
Voltímetro	Voltaje	V	Mide el voltaje a utilizar en el sistema
Amperímetro	Amperios	A	Mide la corriente del sistema de control

4.6 PROCESO DE CÁLCULO PARA EL DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DEL HORNO.

4.6.1 ESPECIFICACIONES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL QUEMADOR

La energía calorífica del quemador está en función al material que se va a tratar dentro del horno, la temperatura que se quiere alcanzar, el combustible a utilizar, los valores se muestran en la siguiente Tabla 8.

Tabla 8. Especificaciones del material de cobre a 200 °C

Motor (Hp)	Elemento Estator	Capacidad calorífica (kJ/Kg · °C)	Peso (Kg)	Conductividad térmica (Kcal/H.m.°C)
100	Hierro fundido	0,54	330	321,79

4.7 ECUACIONES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL QUEMADOR Y SU AISLAMIENTO TÉRMICO.

Para calcular los cálculos necesarios, se deben conocer las siguientes ecuaciones que nos ayudarán a calcular la transferencia de calor entre la cámara y sus alrededores; además, el presupuesto asignado para el proyecto debe ser conocido.[23]

4.7.1 ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL QUEMADOR

Para el dimensionamiento de un quemador para un horno industrial, es necesario considerar varios factores, incluyendo el tipo de combustible, el flujo de aire, la temperatura deseada, la eficiencia del quemador y las características del horno. A continuación, se presenta una fórmula general y los pasos para calcular el tamaño del quemador:

Pasos para el dimensionamiento del quemador:

1. Determinar la energía calorífica requerida (Q)

La energía calorífica requerida se puede calcular en función de la cantidad de calor necesaria para el proceso de calentamiento en el horno.

Ecuación 4.1: Ecuación de la energía calorífica del quemador

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (4.1)$$

Donde:

Q = Energía calorífica (J)

m = Masa del material a calentar (kg)

C_p = Capacidad calorífica específica del material (J/kg·K o kcal/kg·°C)

ΔT = Cambio de temperatura del material (K o °C)

2. Determinar el poder calorífico del combustible (PCS o PCI)

El poder calorífico del combustible se puede encontrar en tablas o especificaciones del proveedor.

PCS = Poder calorífico superior (J/kg o kcal/kg)

PCI = Poder calorífico inferior (J/kg o kcal/kg)

3. Calcular la cantidad de combustible necesario

El tiempo máximo de tratamiento térmico es de 2 horas para un motor de 100 Hp.

Ecuación 4.2: Ecuación de la potencia del quemador

$$P_Q = \frac{Q}{h} \quad (4.2)$$

Ecuación 4.3: Consumo de GLP por el quemador.

$$C_{GLP} = \left(\frac{P_Q}{P_{calorifo}} \right) \quad (4.3)$$

Donde:

P_Q : Potencia del quemador (kJ/h)

C_{GLP} : Consumo de Gas Licuado de Petróleo (kg/h)

$P_{calorifo}$: Poder calorífico del GLP (MJ/kg)

4. Calcular la cantidad de aire necesario para la combustión

La relación aire-combustible depende del tipo de combustible. Se puede calcular usando la estequiometría de la combustión.

La cantidad de masa del aire por kg de GLP es aproximadamente de 15,68 kg aire.

Ecuación 4.4: Ecuación para el volumen del aire.

$$V_{aire} = 15,68 \text{ kg/h} \cdot C_{GLP} \quad (4.4)$$

Donde:

V_{aire} = Flujo de aire (kg/s o kg/h)

4.7.2 ECUACIÓN PARA DETERMINAR EL CALOR REQUERIDO POR EL SISTEMA

La cantidad total de calor suministrada al proceso de secado del motor, es igual a: la cantidad de calor necesario para el calentamiento de la carga, más las pérdidas producidas a través de las paredes durante el tiempo de operación del horno, donde se utiliza la ecuación:[23]

Ecuación 4.5: Ecuación de energía requerida por el sistema.

$$Q_s = Q_p + Q_c \quad (4.5)$$

Donde:

Q_s = Calor suministrado por el sistema (W)

Q_p = Pérdidas de calor (W)

Q_c = Calor absorbido por la carga(W)

Ecuación 4.6: Ecuación de pérdidas de calor en las paredes.

$$Q_p = Q_k + Q_c + Q_r \quad (4.6)$$

Donde:

Q_p = Pérdidas de calor en las paredes (W)

Q_k = Pérdidas acumuladas en las paredes por conducción (W)

Q_c = Pérdidas por convección en la parte exterior (W)

Q_r = Pérdidas de calor por radiación desde la pared exterior (W)

4.8 ECUACIÓN PARA LAS PÉRDIDAS DE CALOR POR CONDUCCIÓN

El flujo de calores es inversamente proporcional al espesor de las paredes, siendo de régimen permanente, la densidad de flujo calórico es constante e igual para todas las capas como se observa en la Figura 18, por lo que se realizó un circuito de resistencias como se muestra en la Figura 19, el cual se representa por la ecuación.

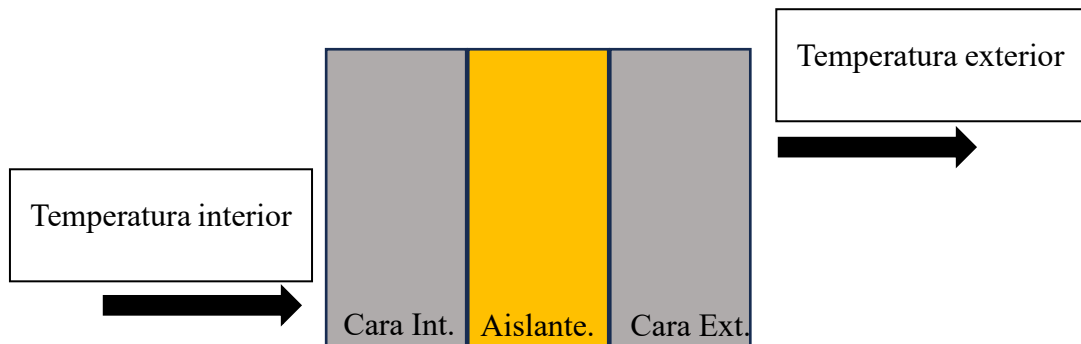


Figura 18. Transferencia de calor a través de las paredes.

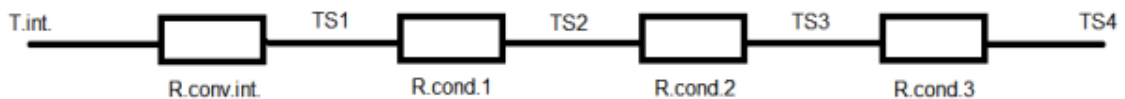


Figura 19. Circuito de resistencias [23]

Ecuación 4.7: Ecuación de pérdidas de calor en las paredes por conducción.

$$Q_k = \frac{T_{s1} - T_{amb}}{\frac{1}{hc \cdot A} + \frac{L1}{k1 \cdot A} + \frac{L2}{k2 \cdot A} + \frac{L3}{k3 \cdot A}} \quad (4.7)$$

Donde:

Q_k = Flujo calorífico perdió en las paredes (W)

T_{S1} = temperatura en la pared interior ($^{\circ}\text{C}$)

T_{amb} = temperatura en pared exterior ($^{\circ}\text{C}$)

L_1 = Espesor de la lámina de hacer galvanizado (m)

L_2 = Espesor del aislante (m)

L_3 = Espesor de la lámina de hacer galvanizado (m)

k_1 = Conductividad térmica del acero galvanizado (W/m. K)

k_2 = Conductividad térmica del aislante (W/m. K)

k_3 = Conductividad térmica del acero galvanizado (W/m. K)

A = Área de la pared (m^2)

h_c = Coeficiente de convección de los gases interna ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$)

4.8.1 ECUACIÓN PARA EL CALOR ACUMULADO EN LAS PAREDES.

En el proceso de tratamiento térmico el calor se acumula en las paredes del horno, hay que considerar que el proceso térmico dura 2 horas como máximo, además de ello hay que tomar en cuenta que 1 (Kcal/h) es 1.163 Watts. Para determinar en calor acumulado en las paredes se utiliza la siguiente ecuación.

Ecuación 4.8: Ecuación de acumulación de calor en las paredes.

$$Q_{ca} = \frac{m \cdot C_p \cdot \Delta T}{t} \cdot (1,163) \quad (4.8)$$

Donde:

Q_{ca} = Calor acumulado en las paredes (W/m. K)

m = Masa del cuerpo (Kg)

C_p = Calor específico del cuerpo (Kcal/Kg* $^{\circ}\text{C}$)

ΔT = Variación de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

t = Tiempo de proceso (H)

4.9 ECUACIONES PARA LAS PÉRDIDAS DE CALOR POR CONVECCIÓN

La transferencia de calor desde una superficie sólida a un fluido en movimiento (como el agua o el aire) que está en contacto con la superficie se conoce como pérdidas de calor por convección. Debido a las variaciones de temperatura entre la superficie del objeto y el fluido que lo rodea, este proceso es esencial en muchos sistemas térmicos.

4.9.1 PERDIDAS DE CALOR POR CONVECCIÓN LIBRE O NATURAL

El movimiento del fluido sin intervención externa ocurre como resultado de las diferencias de densidad en el fluido provocadas por las variaciones de temperatura.

En el proceso de convección libre, los cuatro parámetros adimensionales (Ral), (Pr), (Grx) y (Nul) están relacionados con el coeficiente de convección (hc). Cada parámetro adimensional tiene su propia ecuación en la ecuación de nusselt.[23]

Ecuación 4.9: Ecuación de Nusselt.

$$Nul = \frac{hc \cdot L_c}{k} \quad (4.9)$$

Ecuación 4.10: Ecuación de Rayleigh.

$$Ral = \frac{g \cdot \beta \cdot (\Delta T) \cdot L^3}{\alpha \cdot \gamma} \quad (4.10)$$

Ecuación 4.11: Ecuación de Grashof.

$$Grx = \frac{g \cdot \beta \cdot (\Delta T) \cdot L^3}{\gamma^2} \quad (4.11)$$

Ecuación 4.12: Ecuación de Rayleigh para determinar el régimen.

$$Ral = Grx \cdot Pr \quad (4.12)$$

Donde:

Nul = Numero de Nusselt (adimensional)

L_c = Longitud característica (m^2)

Grx = Número de Grashof (adimensional)

Pr = Numero de Prant (adimensional)

h_c = Coeficiente de convección ($W/m^2.K$)

β = Coeficiente de dilatación de aire (K)

α = Coeficiente de difusión térmica (m^2/s)

g = Gravedad (m^2/s)

K = Conductividad del aire (Kcal/h.m.°C)

ρ = Área de la pared (m^2)

ΔT = Coeficiente de convección de los gases interna ($W/m^2.K$)

Ecuación 4.13: Temperatura media pelicular.

$$T_m = \frac{T_{S4} + T_{amb}}{2} \quad (4.13)$$

Donde:

T_m = temperatura media (K)

T_{S4} = temperatura superficial del horno (K)

T_{amb} = temperatura en pared exterior (K)

Para las superficies planas verticales dirigidas hacia arriba las ecuaciones para conocer el régimen son las siguientes:

Régimen laminar: $Ral < 10^9$

$$\text{Donde: } Nul = \left(0,68 + \frac{0,67 \cdot (Ral)^{\frac{1}{4}}}{\left(1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{4}{9}}} \right)^2$$

Régimen laminar: $Ral > 10^9$

$$\text{Donde: } Nul = \left(0,825 + \frac{0,387 \cdot (Ral)^{\frac{1}{6}}}{\left(1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{8}{27}}} \right)^2$$

Ecuación 4.14: Coeficiente de convección.

$$h_c = \frac{Nul \cdot k}{L_c} \quad (4.14)$$

Donde:

h_c = Coeficiente pelicular colectivo (m^2)

Nul = Numero de Nusselt (W/m. K)

K = Conductividad del fluido (adimensional)

L_c = Longitud característica (m^2)

Las pérdidas de calor por convección en las paredes están das por la siguiente ecuación.

Ecuación 4.15: Perdidas de calor por convección en las paredes verticales.

$$Q_c = h_c \cdot A \cdot \Delta T \quad (4.15)$$

Donde:

Q_c = Perdidas de calor por convección (W)

h_c = Coeficiente de convección ($W/m^2.K$)

A = Área de la pared (m^2)

ΔT = Diferencia de temperatura ($^{\circ}C$)

Las pérdidas de calor por convección en las paredes horizontales están dadas por la ecuación (4.15). Teniendo en cuenta que la pérdida por convección en la pared inferior es del 35% menos ya que los gases calientes tienden a subir a la parte superior del horno.

Para paredes horizontales

Régimen laminar: $10^4 \leq Ral \leq 10^7$

Donde el: $Nul = 0,54 \cdot (Ral)^{\frac{1}{4}}$

Régimen turbulento: $10^7 \leq Ral \leq 10^{11}$

Donde el: $Nul = 0,15 \cdot (Ral)^{\frac{1}{3}}$

Ecuación 4.16: Perdidas de calor por convección en las paredes verticales.

$$Q_c = h_c \cdot A \cdot \Delta T \quad (4.16)$$

Donde:

Q_c = Pérdidas de calor por convección (W)

h_c = Coeficiente de convección (W/m².K)

A = Área de la pared (m²)

ΔT = Diferencia de temperatura (°C)

4.10 PERDIDAS DE CALOR POR RADIACIÓN

Las pérdidas de calor por radiación se refieren a la transferencia de energía térmica en forma de ondas electromagnéticas, generalmente en el rango del infrarrojo. A diferencia de la conducción y la convección, la radiación no requiere un medio material para transferir el calor; puede ocurrir en el vacío.

Ecuación 4.17: Pérdidas de calor por radiación.

$$Q_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_s^4 - T_{amb}^4) \quad (4.17)$$

Donde:

Q_r = Calor transmitido por radiación (W)

ε = Emisividad de la superficie emisora (adimensional)

σ = Constante universal de Stefan Boltzmann (Kcal/h.m².K)

A = Área de superficie emisora (m²)

T_{s4} = temperatura superficial del horno (°C)

T_{amb} = temperatura en pared exterior (°C)

4.11 CALOR NECESARIO PARA LA CARGA

Ecuación 4.18: Calor requerido por la carga.

$$Q_{sec} = V_m \cdot \rho m \cdot H_i \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (4.18)$$

Donde:

V_m = Volumen del motor (m^3)

ρ_m = Densidad de cobre (Kg/m^3)

H_i = Contenido de humedad (%)

A = Área de superficie emisora (m^2)

C_p = Calor específico del cobre ($Kcal/Kg^{\circ}C$)

ΔT = Diferencia de temperatura ($^{\circ}C$)

4.11.1 CALCULO PARA EL VOLUMEN DEL MOTOR

Ecuación 4.19: Fórmula para determinar el volumen del motor.

$$V_m = L \cdot A \cdot E \quad (4.19)$$

Donde:

L = Largo del motor (m)

A = Acho del motor (m)

E = Espesor del motor (m)

4.11.2 ECUACIÓN PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MOTOR

Para obtener el contenido de humedad del motor, se lo realiza en función de su peso y el barniz a utilizar en el secado. Tomando en cuenta que 1 galón de barniz Weg lacktherm 1313 h, tiene un peso de (4.54Kg), y también considerando la humedad relativa del ambiente en la zona de 85%, para lo cual se utiliza la ecuación:

Ecuación 4.20: Formula para determinar el contenido de humedad.

$$H_i = \left(\frac{P_h \cdot P_s}{P_m} \cdot 100\% \right) + H_r \quad (4.20)$$

Donde:

H_i = Humedad inicial del motor (%)

P_h = Peso del motor húmedo (Kg)

P_s = Peso del motor seco (Kg)

P_m = Peso del motor (Kg)

H_r = Humedad relativa

4.12 ECUACIÓN PARA EL CÁLCULO DE LA POTENCIA TOTAL.

Ecuación 4.21: Potencia total.

$$PT = VL \cdot IL \cdot \cos\phi \quad (4.21)$$

Donde:

P_T : Potencia total (W)

V_L : Voltaje de línea (V)

I_L : Corriente de línea (A)

$\cos\phi$: Factor de potencia (adimensional)

4.13 ECUACIÓN PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL ELEMENTO TERMOMAGNÉTICO (BREAKER)

Ecuación 4.22: Potencia total.

$$IBr = IL \cdot 1,5 \quad (4.22)$$

Donde:

I_L : Corriente de línea (A)

1,5: Factor de seguridad (adimensional)

4.23 CÁLCULO DEL ÁREA SUPERFICIAL DEL ESTATOR

Ecuación 4.23: Área superficial

$$A_{superficie} = \pi \cdot d \cdot h + 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad (4.23)$$

Donde:

$A_{superficie}$: *area superficial del estator (m²)*

d : *diametro del estator (m)*

h : *altura del estator (m)*

4.24 VOLUMEN DE BARNIZ APLICADO

Ecuación 4.24: Volumen del barniz

$$V_{barniz} = A_{superficie} \cdot \text{espesor del barniz} \quad (4.24)$$

Donde:

V_{barniz} = *Volumen a ocupar de barniz (m³)*

4.25 MASA DEL BARNIZ APLICADO

Ecuación 4.25: Masa del barniz

$$m_{barniz} = V_{barniz} \cdot \rho_{barniz} \quad (4.25)$$

Donde:

m_{barniz} : *masa a ocupar del barniz (kg)*

ρ_{barniz} : *Densidad del barniz = 950 $\frac{kg}{m^3}$*

4.26 ENERGÍA NECESARIA PARA CALENTAR EL ESTATOR

Ecuación 4.26: Calor requerido por el estator

$$Q_{calor\ estator} = m_{estator} \cdot C \cdot \Delta T \quad (4.26)$$

Donde:

$Q_{calor\ estator}$: *calor en el esator (J)*

C : *capacidad calorifica (J/kg. °C)*

ΔT : *Variacion de temperatura (°C)*

4.27 ENERGÍA NECESARIA PARA EVAPORAR EL SOLVENTE**Ecuación 4.27:** Calor de evaporización

$$Q_{\text{evaporación}} = m_{\text{barniz}} \cdot (1 - 0,36) \cdot 2 \quad (4.27)$$

Donde:

Q_{evaporación}: calor de evaporización (J)*m_{barniz}*: masa del barniz (kg)**4.28 TIEMPO TOTAL DEL SECADO****Ecuación 4.28:** Tiempo de secado

$$t_{\text{secado}} = \frac{Q_{\text{total}}}{\text{Potencia del horno}} \quad (4.28)$$

Donde:

t_{secado}: tiempo de secado (min)*Q_{total}*: es la suma del calor del estator mas el calor de evaporización(J)*Potencia del horno* = 5585 W**5 ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS****5.1 RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS ECUACIONES**

Una vez realizado los cálculos nos permitirán el dimensionamiento correcto el nuevo aislamiento termino y sistema de control. Estos resultados se los puede observar en las siguientes tablas:

Tabla 9. Resultados del cálculo para el diseño del quemador y las protecciones del circuito

Cálculos	Ecuación	Resultados
Energía calorífica requerida del quemador	$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$ $Q = 330 \cdot 0,54 \cdot (200 - 18)$	$Q = 32432,4 \text{ (kJ)}$
Potencia del Horno	$P_Q = \frac{32432,4}{2} = 16,2162 \text{ (MJ/h)}$	$P_Q = 4501,16 \text{ W}$
Cantidad de combustible a utilizar	$P_Q = \frac{32432,4}{2} = 16,2162 \text{ (MJ/h)}$ $C_{GLP} = \left(\frac{16,2162}{46} \right)$	$C_{GLP} = 0,35 \text{ (kg/h)}$
Cantidad de aire necesario	$V_{aire} = 15,68 \cdot C_{GLP}$ $V_{aire} = 15,68 \cdot 0,35$	$V_{aire} = 5,52 \text{ (kg/h)}$
Contactador	$IL = \frac{PT}{\sqrt{L} \cdot \cos\phi}$ $IL = \frac{500}{110 \cdot 0,98}$	$IL = 4,63 \text{ (A)} \approx 6 \text{ (A)}$
Elemento termomagnético (Breaker)	$IBr = IL \cdot 1,5$ $IBr = 6,15$	$IBr = 9 \text{ (A)}$

Tabla 10. Resultados de los cálculos para las pérdidas por conducción y calor acumulado en las paredes

Calculo	Ecuación	Resultados	
		Antes	Después
Perdidas de calor por conducción.	$Q_k = \frac{T_{s1} - T_{amb}}{\frac{1}{hc \cdot A} + \frac{L1}{k1 \cdot A} + \frac{L2}{k2 \cdot A} + \frac{L3}{k3 \cdot A}}$ $Q_k = \frac{200 - 23}{\frac{1}{25 \cdot 1,1} + \frac{0,05}{54 \cdot 1,1} + \frac{0,02}{0,12 \cdot 1,1} + \frac{0,05}{54 \cdot 1,1}}$ $Q_k = \frac{200 - 23}{\frac{1}{25 \cdot 1,1} + \frac{0,0014}{54 \cdot 1,1} + \frac{0,04}{0,12 \cdot 1,1} + \frac{0,0014}{54 \cdot 1,1}}$	$Q_{ca} = 933,73 \text{ (W)}$	$Q_{ca} = 520,79 \text{ (W)}$
Calor acumulado en las paredes.	$Q_{ca} = \frac{m \cdot C_p \cdot \Delta T}{t} \cdot (1,163)$ $Q_{ca} = \frac{87,68 \cdot 0,201 \cdot (200 - 60)}{2} \cdot (1,163)$	$Q_{ca} = 1434,74 \text{ (w)}$	
Temperatura en la pared exterior del horno	$T_{exterior} = Q_k \cdot \left(\frac{1}{hc \cdot A} + \frac{L1}{k1 \cdot A} + \frac{L2}{k2 \cdot A} + \frac{L3}{k3 \cdot A} \right) - T_{s1}$	$T_{exterior} = 23,22 \text{ } ^\circ\text{C}$	

 Tabla 11. Datos obtenidos de la interpolación a $T_m = 314,65 \text{ K}$

Propiedad	Valor interpolado	Unidad
Densidad (ρ)	1,1126	kg/m^3
Capacidad calorífica específica (C_p)	1,0076	(kJ/kg. K)
Viscosidad Dinámica (μ)	$191,52 \cdot 10^{-7}$	(N.s/m ²)
Viscosidad Cinemática (ν)	$17,37 \cdot 10^{-6}$	(m ² /s)
Conductividad Térmica (k)	$27,38 \cdot 10^{-3}$	(W/m. K)
Difusividad Térmica (α)	$24,77 \cdot 10^{-6}$	(m ² /s)
Número de Prandtl (Pr)	0,705	Adimensional
Coefficiente de dilatación volumétrica (β)	$3,18 \cdot 10^{-3}$	1/K
Longitud característica (L)	1,05	m

Tabla 12. Resultado del cálculo para las pérdidas de calor por convección libre o natural.

Cálculo	Ecuación	Resultados
Temperatura pelicular	$T_m = \frac{T_{s4} + T_{amb}}{2}$ $T_m = \frac{60 + 23}{2}$	$T_m = 314,65 \text{ K}$
Número de Grashof	$Grx = \frac{g \cdot \beta \cdot (\Delta T) \cdot L^3}{\nu^2}$ $Grx = \frac{9,81 \cdot 3,18 \cdot (41,5) \cdot (1,05)^3}{(17,37 \cdot 10^{-6})^2}$	$Grx = 496,72 \cdot 10^7$
Número de Rayleigh para determinar el régimen laminar	$Ral = Grx \cdot Pr$ $Ral = 496,72 \cdot 10^7 \cdot 0,705$	$Ral = 350,18 \cdot 10^7$
Número de Nusselt	$Nul = \left(0,825 + \frac{0,387 \cdot (350,18 \cdot 10^7)^{\frac{1}{6}}}{\left(1 + \left(\frac{0,492}{0,705} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{8}{27}}} \right)^2$	$Nul = 181,18$
Coefficiente de convección para paredes verticales	$h_c = \frac{Nul \cdot k}{L_c}$ $h_c = \frac{181,18 \cdot (27,38 \cdot 10^{-3})}{1,05}$	$h_c = 4,72 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$
Perdidas por convección en paredes verticales	$Q_c = h_c \cdot A \cdot \Delta T$ $Q_c = (4,72) \cdot (1,1) \cdot (41,5)$ $Q_c = 215,468.4$	$Q_c = 861,87 \text{ (W)}$
Número de Nusselt en paredes horizontales	$Nul = 0,15 \cdot (Ral)^{\frac{1}{3}}$ $Nul = 0,15 \cdot (350,18 \cdot 10^7)^{\frac{1}{3}}$	$Nul = 227,77$
Coefficiente de convección para paredes horizontales	$h_c = \frac{Nul \cdot k}{L_c}$ $h_c = \frac{227,77 \cdot (27,38 \cdot 10^{-3})}{1,05}$	$h_c = 5,93$
Perdidas por convección en la pared horizontal superior	$Q_c = h_c \cdot A \cdot \Delta T$ $Q_c = 5,93 \cdot 1.092 \cdot 41.5$	$Q_c = 268,73 \text{ (W)}$

Tabla 13. Resultados calculados para las pérdidas de radiación y energía requerida por el sistema

Cálculos	Ecuación	Resultados
Pérdidas de calor por radiación	$Q_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_s^4 - T_{amb}^4)$ $Q_r = 0,95 \cdot (5,67 \cdot 10^{-8}) \cdot 1,1 \cdot (30^4 - 23^4)$	$Q_r = 0,0314 \text{ (W)}$
Sumatoria de perdidas	$Q_p = Q_k + Q_c + Q_r$ $Q_p = 520,79 + (861,87 + 268,73) + 0,0314$	$Q_p = 1651,42 \text{ (W)}$
Volumen del motor	$V_m = L \cdot A \cdot E$ $V_m = 0,48 \cdot 2,0 \cdot 0,05$	$V_m = 0,048 \text{ (m}^3\text{)}$
Humedad del motor	$H_i = \left(\frac{P_h - P_s}{P_m} \cdot 100\% \right) + H_r$ $H_i = \left(\frac{337 - 330}{330} \cdot 100\% \right) + 85$	$H_i = 87,12\%$
Potencia requerida por la carga	$Q_{sec} = V_m \cdot \rho_m \cdot H_i \cdot C_p \cdot \Delta T$ $Q_{sec} = 0,048 \cdot 11,91 \cdot 87,12 \cdot 0,54 \cdot 173$	$Q_{sec} = 1292,43 \text{ (W)}$
Potencia requerida por el sistema	$Q_s = Q_p + Q_{sec}$ $Q_s = (1651,42 + 1292,43) \cdot 1,5$	$Q_s = 4415,77 \text{ (W)}$

Tabla 14. cálculos para un motor de 25 Hp, estator de hierro fundido

Cálculos	Ecuación	Resultado
Área superficial	$A_s = \pi \cdot d \cdot h + 2\pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2$	$0,5 \text{ m}^2$
Volumen del barniz	$V_b = A_s \cdot \text{espesor del barniz}$	$0,0005 \text{ m}^3$
Masa del barniz	$m_s = V_b \cdot \rho_b$	$0,475 \text{ kg}$
Calor en el estator	$Q_{estator} = m_{estator} \cdot c \cdot \Delta T$	$8442,00 \text{ J}$
Calor de evaporación	$Q_{ev} = m_b \cdot (1 - 0,36) \cdot 2$	$1210,500 \text{ J}$
Calor total	$Q_T = Q_{estator} + Q_{ev}$	$9652,500 \text{ J}$
Tiempo de secado	$t = \frac{Q_T}{4501,16 \text{ W}}$	35 min

Tabla 15. cálculos para un motor de 25 Hp, estator de aluminio

Cálculos	Ecuación	Resultado
Área superficial	$A_s = \pi \cdot d \cdot h + 2\pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2$	0,5 m ²
Volumen del barniz	$V_b = A_s \cdot \text{espesor del barniz}$	0,0005 m ³
Masa del barniz	$m_s = V_b \cdot \rho_b$	0,475 kg
Calor en el estator	$Q_{estator} = m_{estator} \cdot c \cdot \Delta T$	8187,00 J
Calor de evaporación	$Q_{ev} = m_b \cdot (1 - 0,36) \cdot 2$	1210,500 J
Calor total	$Q_T = Q_{estator} + Q_{ev}$	9397,500 J
Tiempo de secado	$t = \frac{Q_T}{4501,16 W}$	34min

Tabla 16. cálculos para un motor de 50 Hp, estator de hierro fundido

Cálculos	Ecuación	Resultado
Área superficial	$A_s = \pi \cdot d \cdot h + 2\pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2$	1 m ²
Volumen del barniz	$V_b = A_s \cdot \text{espesor del barniz}$	0,001 m ³
Masa del barniz	$m_s = V_b \cdot \rho_b$	0,95 kg
Calor en el estator	$Q_{estator} = m_{estator} \cdot c \cdot \Delta T$	16884,00 J
Calor de evaporación	$Q_{ev} = m_b \cdot (1 - 0,36) \cdot 2$	1220,500 J
Calor total	$Q_T = Q_{estator} + Q_{ev}$	18094,500 J
Tiempo de secado	$t = \frac{Q_T}{4501,16 W}$	67 min

Tabla 17. cálculos para un motor de 50 Hp, estator de aluminio

Cálculos	Ecuación	Resultado
Área superficial	$A_s = \pi \cdot d \cdot h + 2\pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2$	0,5 m ²
Volumen del barniz	$V_b = A_s \cdot \text{espesor del barniz}$	0,001 m ³
Masa del barniz	$m_s = V_b \cdot \rho_b$	0,95 kg
Calor en el estator	$Q_{estator} = m_{estator} \cdot c \cdot \Delta T$	16530,00 J
Calor de evaporación	$Q_{ev} = m_b \cdot (1 - 0,36) \cdot 2$	1210,500 J
Calor total	$Q_T = Q_{estator} + Q_{ev}$	17740,500 J
Tiempo de secado	$t = \frac{Q_T}{4501,16 W}$	65 min

Tabla 18. cálculos para un motor de 100 Hp, estator de hierro fundido

Cálculos	Ecuación	Resultado
Área superficial	$A_s = \pi \cdot d \cdot h + 2\pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2$	2 m ²
Volumen del barniz	$V_b = A_s \cdot \text{espesor del barniz}$	0,002 m ³
Masa del barniz	$m_s = V_b \cdot \rho_b$	1,9 kg
Calor en el estator	$Q_{estator} = m_{estator} \cdot c \cdot \Delta T$	33768,00 J
Calor de evaporación	$Q_{ev} = m_b \cdot (1 - 0,36) \cdot 2$	2429,500 J
Calor total	$Q_T = Q_{estator} + Q_{ev}$	36188,500 J
Tiempo de secado	$t = \frac{Q_T}{4501,16 W}$	134 min

Tabla 19 cálculos para un motor de 100 Hp, estator de aluminio

Cálculos	Ecuación	Resultado
Área superficial	$A_s = \pi \cdot d \cdot h + 2\pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2$	2 m ²
Volumen del barniz	$V_b = A_s \cdot \text{espesor del barniz}$	0,002 m ³
Masa del barniz	$m_s = V_b \cdot \rho_b$	1,9 kg
Calor en el estator	$Q_{estator} = m_{estator} \cdot c \cdot \Delta T$	33060,00 J
Calor de evaporación	$Q_{ev} = m_b \cdot (1 - 0,36) \cdot 2$	2420,500 J
Calor total	$Q_T = Q_{estator} + Q_{ev}$	35480,500 J
Tiempo de secado	$t = \frac{Q_T}{4501,16 W}$	131min

5.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Con los resultados obtenidos en los cálculos anteriores los materiales seleccionados y la capacidad que deben de tener los mismos para el desarrollo del horno industrial a gas se especifican en la siguiente Tabla 20.

Tabla 20. Elementos a utilizar según sus especificaciones. [Revisar Anexos]

Elemento	Especificaciones
Lana de vidrio	La fibra de vidrio a utilizar es de un espesor de 400 mm. De esta manera reducimos las pérdidas del 933,73 a 520,72.
Plancha de acero galvanizado	Las planchas de acero galvanizado que vamos a ocupar son de un espesor de 1.4 mm, de acuerdo a las especificaciones del material esta soporta las temperaturas con las que va a trabajar el horno y adema de ello ayudar a reducir las pérdidas de calor.
Termopar tipo J	La termocupla seleccionada es de tipo J esta termocupla trabaja con temperaturas de 0°C a °C 750.
Quemador en forma de C	Este quemador proporciona la energía requerida de 5373,72 W por el sistema, pues nos ayuda alcanzar la temperatura deseada para el tratamiento térmico de los estatores y bobinados.
Contactador	Ocupamos un contactador de 6 amperios de acuerdo al resultado obtenido. Este elemento se encarga de la protección del tablero de control.

Elemento electromagnético	El breaker debe de ser de 9 amperios para salvaguardar la vida de las personas y proteger el sistema.
---------------------------	---

El proceso realizado para la reconstrucción del horno se la puedes observar en el anexo I.

5.3 CURVA DE LA TEMPERATURA EN FUNCIÓN AL TIEMPO

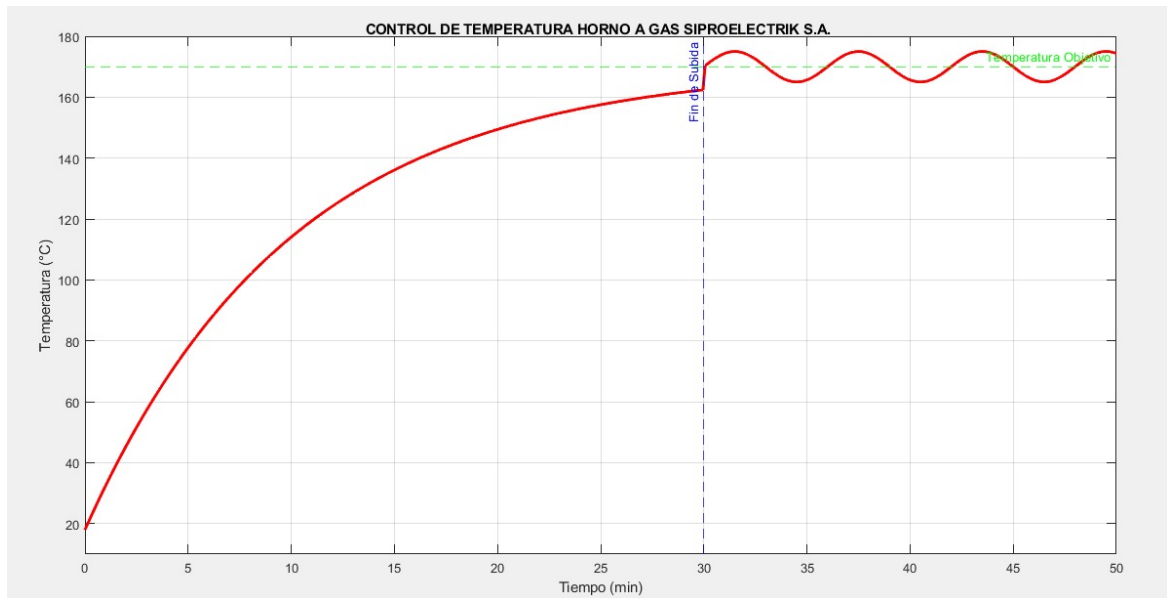


Figura 20. Comportamiento de la temperatura en el horno industrial a gas.

El la gráfica se puede observar como la temperatura alcanza el valor deseado en 30 minutos, luego el sistema se apaga y la temperatura disminuye en 3°C por lo que el sensor manda a encender nuevamente el sistema teniendo así un control On/ Off. De esta manera mantiene la temperatura deseada en el rotor y estator para un secado uniforme.

5.4 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ANTERIOR Y NUEVO HORNO

Luego de realizar la toma de datos en la empresa se consiguieron los siguientes datos, las cuales se observan en la Tabla 21:

Tabla 21. Comparación de tiempo y temperatura.

Sistema	Motor (Hp)	Tiempo de precalentamiento (min)	Temperatura alcanzada (°C)	Tiempo de secado (min)	Temperatura alcanzada (°C)
Anterior	25	25 – 30	50 – 60	40 – 45	160 – 180
Nuevo		15	60	35	170
Anterior	50	30 – 35	50 – 60	60 – 75	160 – 180
Nuevo		20	60	60	170
Anterior	100	30 – 40	50 – 60	125– 160	160 – 180
Nuevo		25	60	130	170

En la Tabla 22 se puede observar el tiempo óptimo de secado producto de acuerdo a las especificaciones del área, masa, y material que va a variar de acuerdo a la potencia del motor.

Tabla 22 Datos de tiempo de secado en función al barniz aplicado

Potencias del motor (HP)	Material del estator	Área (m ²)	Masa (kg)	Energía Total (J)	Tiempo de secado (min)
25	Hierro fundido	0,50	150,00	9652,500	35
	aluminio		75,00	9397,500	34
50	Hierro fundido	1,00	300,00	18094,500	67
	aluminio		150,00	17740,500	65
100	Hierro fundido	2,00	600,00	36188,500	134
	Aluminio		300,00	35840,00	131

5.5 PRESUPUESTO REFERENCIAL

5.5.1 GASTOS DE EJECUCIÓN

En la Tabla 23 se detalla los costos asociados a materiales adquiridos mecánicos y eléctricos que fueron necesarios para el desarrollo del horno.

Tabla 23. Costos directos

Descripción	Cantidad	Precio U.	IVA 15%	Total \$
Acero Galvanizado 1200x2400x1.4mm	4	22	13,2	101,20
Remaches pop 3/16x3/4	300	0,02	0,90	6,90
Lana de Vidrio 120Cm x 15M x 40mm	1	79,67	11,95	91,62
Tornillos autoperforantes 3/16 mm	4	0,05	0,03	0,23
Electrodos 6011	16	0,30	0,72	5,52
Broca 3/16	1	1,15	0,17	1,32
Broca M10	1	2,10	0,31	2,41
Tornillo/Tuerca M10 x 6	10	0,20	0,03	2,02
Disco de corte de amoladora	2	3,00	0,90	3,90
Disco Multilijas	1	2,50	0,37	2,87
Tubo redondo ½	1	12,00	1,80	13,80
Cañería de cobre ½	1/8	5.24	0,78	6,02
Tuerca Cónica	1	2,60	0,39	2,99
Electroválvula de gas	1	80,00	12,00	92,00
Shiglor de 0,42 mm	1	0,45	0,06	0,51
Válvula de gas de 3Kg/h	1	8,15	1,22	9,37
Llave de paso para gas	1	2,75	0,41	3,16
Tubería EMT “3/4”	1	4,20	0,63	4,83
Conector funda sellada “3/4”	2	1,65	0,49	3,79
Cajetín Metal Rectangular	3	0,40	0,18	1,38
Conector EMT “3/4”	4	0,52	0,31	2,39
Cable para temperatura “asbesto” #12	10	3,31	4,96	38,06
Luz piloto verde 110 – 220 V, AC	1	1,35	0,20	1,55
Cable flexible # 14	10	0,32	0,48	3,68

Termocupla tipo “J” Bayoneta	1	45,00	6,75	51,75
Sensor de llama WR790	1	18,00	2,70	20,70
Generador de chispa tipo electrodo 15 cm	1	16,00	2,40	18,40
Módulo de ignición EUS 03.2.10.8	1	18,00	2,70	20,70
Controlador INV-12411	1	120,00	18,00	138,00
Borneras de riel din AWG 14	10	1,20	1,80	13,80
Disyuntor 9 A	1	6,40	0,96	7,36
Contacto MC-12b	1	7,18	1,07	8,25
Timbre 30V	1	5,00	0,75	5,75
Pulsador NA, verde 110V-AC	1	1,70	0,25	1,95
Pulsador NC, rojo 110V-AC	1	1,70	0,25	1,95
Pulsador hongo 110V - AC	1	3,35	0,50	3,85
Cable Flexible THHN #14	10m	0,65	0,97	7,47
Spaghetti fibra de vidrio #8	4m	0,98	0,58	4,5
Spaghetti fibra de vidrio #6	3m	0,76	0,34	2,62
Canaleta ranurada 25 x 25	1	3,70	0,55	4,25
Terminal de ojo AWG 14	10	0,10	0,15	1,15
Terminal de espada AWG 14	30	0,10	0,45	3,45
Terminal de riel AWG 14	6	0,10	0,09	0,69
TOTAL				718,11

5.5.2 COSTOS INDIRECTOS

Los costos generales se detallan a continuación en la Tabla 24, estos fueron necesarios para la repotenciación del horno a gas.

Tabla 24. Costos indirectos

Descripción	Total
Transporte y Alimentación	90,00
Impresiones, investigación, entre otro material bibliográfico	40,00
Mano de obra técnica no especializada soldador, cortador, etc.	100,00
Mano de obra Técnica especializada supervisor del proyecto.	650,00

5.5.3 COSTO TOTAL DE INVERSIÓN

En la Tabla 25 se presenta tantos los gastos directos asociados a la ejecución de la propuesta tecnológica como los gastos indirectos de la misma, esta cifra refleja la inversión completa que es necesaria para llevar a cabo el proyecto de forma efectiva.

Tabla 25, Costo total de inversión

Descripción	Total
Costos Directos	718,11
Costos indirectos	880,00
TOTAL	1598,11

5.6 TIR y VAN

El la Tabla 26 se puede observar los ingresos de la empresa en los últimos cinco años, estos datos han sido proporcionados por la empresa.

Tabla 26. Ingresos de la empresa en los últimos 5 años

Secado del motor	Año				
	1	2	3	4	5
5HP	8,32	8,42	8,52	8,63	8,74
10 HP	12,35	12,50	12,65	12,81	12,96
30 HP	15,09	15,27	15,46	15,65	15,84
45 HP	11,39	11,53	11,67	11,81	11,96
75 HP	18,77	10,00	19,23	19,47	19,71
Total	65,93	66,74	67,56	68,39	69,23

En la Tabla 27 se observan los egresos de la empresa en los últimos 5 años, estos datos han sido proporcionados por la empresa.

Tabla 27. egresos de la empresa en los últimos 5 años

Consumo	Año				
	1	2	3	4	5
Luz	1890,00	1,91	1,69	1,98	2,00
Agua	191,00	193,00	195,00	197,00	199,00
Internet	255,00	258,00	261,00	264,00	267,00
Compra de materia prima	3,22	3,36	3,30	3,34	3,38
Accesorios de rebobinaje	2,05	2,07	2,10	2,12	2,15
Accesorios varios	213,00	216,00	219,00	222,00	225,00
Empleados	55,27	55,95	56,63	57,33	58,03
Total	63,11	63,892	64,67	65,47	56,27

El estudio del del TIR y el VAN se lo realizo con los datos de los ingresos y egreso, con una tasa de interés del 10%. En la Tabla 28 se puede observar dichos resultados.

Tabla 28. TIR y el VAN

	Inversión	Año				
		1	2	3	4	5
Ingresos	-	65,932	66,742	67,563	68,392	69,231
Egresos	-	63,116	63,892	64,676	65,471	56,274
Total	-1598,11	2,816	2,851	2,887	2,921	2,957
				VAN	12119,51	
				TIR	12,41 %	

El VAN es positivo, lo que indica que el proyecto es rentable y vale la pena invertir en él. El valor del VAN representa el valor actual neto del proyecto, es decir, el valor actual de los flujos de caja futuros descontados a la tasa de descuento del 10%. Esto significa que la tasa interna de retorno del proyecto es aproximadamente del 12.41% anual.

5.7 ANÁLISIS ECONÓMICO QUE GENERA EL NUEVO HORNO

Reducción de pérdidas de calor

Antes: 933,73 W

Ahora: 520,79 W

Reducción de pérdidas de calor: 412,94 W

Tiempo de trabajo

Antes: 45 minutos

Ahora: 30 minutos

Consumo de energía

Antes: 700,29 Wh

Ahora: 260,39 Wh

Ahorro de energía

Ahorro: 439,90 Wh

Relación con el consumo de gas

$$\frac{E_{ahora}}{E_{antes}} = \frac{260,39 Wh}{700,29 Wh} = 0,37$$

$$ahorro\ de\ gas = (1 - 0,37) \cdot 100\% = 62,8\%$$

Ahorro mensual de dinero

$$ahorro = 55\ US.0,62 = 34,54USD$$

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Las mejores prácticas y avances tecnológicos en el diseño y control de hornos industriales se han identificado y comprendido gracias a la recopilación de información bibliográfica. Enfatizan la importancia de la regulación térmica precisa para maximizar el secado de rotores y estatores, los artículos revisados brindan una comprensión clara de las tendencias actuales en el control de temperatura y los sistemas de combustión. Para crear un sistema de control efectivo que cumpla con las necesidades de la empresa.
- La implementación del sistema de control en el horno a gas para el tratamiento térmico de estatores y rotores ha demostrado ser eficaz, obteniendo una mejora en el tiempo de secado de un 33,4 %, tomando como ejemplo un motor de 25 Hp el proceso se tardaba 45 minutos ahora, con el sistema actual el tiempo es de 30 minutos. El aislamiento térmico ha reducido las pérdidas en un 44,2 %, anteriormente las pérdidas eran de 933,72 W actualmente las pérdidas son de 520,11 W. En cuanto a los costos de consumo de GLP se ha disminuido en un 62,8% es decir de los 55\$ que cuesta recargar una bombona, el ahorro es de 34,54 \$.
- Para garantizar el adecuado tratamiento térmico de rotores y estatores en el horno industrial, se realizó pruebas en la carga. En la cual se comprobó su correcto secado mediante el tiempo óptimo calculado. Los cálculos efectuados están en función, al área superficial del estator, el espesor del barniz aplicado y el volumen de la masa. Tomando como referencia un estator de 150 kg el cual tiene un tiempo de secado ideal de 34 minutos mediante la toma de datos se confirmó el correcto tratamiento térmico en dicho estator. Además, se realizaron pruebas de megado a distintos tiempos, dando como resultado una resistencia mayor a 2000 MΩ a partir de los 32 minutos de secado, comprobando así el correcto aislamiento y por tanto un correcto secado en el estator.

6.2 RECOMENDACIONES

- Implementar un sistema de recirculación de aire forzado que garantice una distribución equitativa del calor en la cámara del horno para maximizar el proceso de secado de rotores y estatores. Con la ayuda de conductos bien diseñados que dirigen el aire caliente de manera efectiva, así como de sensores de temperatura que regulan el flujo de aire en tiempo real, los ventiladores se colocan en posiciones estratégicas. Esta configuración garantiza una calidad consistente en el tratamiento, mejora la uniformidad del secado y reduce el consumo de energía.
- Diseñar un carro automatizado que permita el retiro de los estatores y rotores sin que el operador tenga que estar en contacto directo con ellos para maximizar la manipulación de los componentes después del tratamiento térmico. El sistema de transporte automatizado y los mecanismos de elevación controlados por sensores y actuadores permitirán una transferencia eficiente y segura de los componentes desde el horno hasta la zona de enfriamiento o almacenamiento.
- Crear una base de datos que registre y maneje la información detallada sobre cada motor que ha sido sometido al proceso de secado en el horno. Esta base de datos debe contener información importante, como la cantidad de motores procesados, las fechas de secado, los parámetros de operación y cualquier incidencia o modificación que se haya realizado durante el proceso. La recolección automática de datos en tiempo real disminuye la necesidad de intervención manual y los errores. Para la identificación de patrones, la optimización del proceso y el mantenimiento preventivo basado en la frecuencia de uso, esta herramienta facilitará el análisis histórico de datos.

7. REFERENCIAS

- [1] I. Mecánico, P. Auxiliar, C. Alberto Orozco Hincapié Ingeniero Mecánico, y P. Titular, “ESTUDIO DINAMICO DE UN HORNO DE RESISTENCIAS ELECTRICAS CONVERTIDO A GAS Héctor Aguirre Corrales”.
- [2] “Hornos Industriales para metales - NUTEC Bickley”. Consultado: el 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://nutecbickley.com/es/que-hacemos/hornos-industriales-para-metales>
- [3] “Tipos de hornos industriales - CarboSystem”. Consultado: el 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://carbosystem.com/tipos-de-hornos-industriales/>
- [4] “Horno Rotativo Industrial archivos - Hornos Rotativos Industriales”. Consultado: el 9 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://hornosrotativos.com/tag/horno-rotativo-industrial/>
- [5] “Hornos de crisol basculante KB calentamiento por gas, para fundir y mantener el calor Nabertherm”. Consultado: el 9 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://nabertherm.com/es/productos/industria/fundicion/hornos-de-crisol-basculante-calentamiento-electrico-o-por-gas/hornos>
- [6] “Horno Electrico Industrial 6 Moldes Multifuncion Speedy | GASTRONOVO”. Consultado: el 9 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.gastronovo.com/producto/horno-electrico-industrial-6-moldes-multifuncion-speedy/>
- [7] “¿Cuánto gas gasta un horno industrial? – TotalEnergies”. Consultado: el 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.totalenergies.es/es/pymes/blog/cuanto-gas-gasta-horno-industrial>
- [8] “Horno De Secado A Gas Natural 30.000k/caloría Hora Envíos | MercadoLibre”. Consultado: el 9 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-815834643-horno-de-secado-a-gas-natural-30000kcaloria-hora-envios-_JM
- [9] “Inova - INV-12411”. Consultado: el 9 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://inova.ind.br/produto/INV-12411>
- [10] “Barnices de aislamiento – MYG Inc Motores Eléctricos”. Consultado: el 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://motoresygeneradores.com/barnices-de-aislamiento/>
- [11] M. Vinicio y H. García, “ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA AUTOMATIZACIÓN DE DOS HORNOS PARA TRATAMIENTO TÉRMICO PERTENECIENTES AL LABORATORIO DE METALOGRAFÍA, DESGASTE Y FALLA DEL DEPARTAMENTO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y CONTROL”.

- [12] “Revista ElectroIndustria - Termocuplas: Fundamentos y recomendaciones”. Consultado: el 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1502&ni=termocuplas-fundamentos-y-recomendaciones>.
- [13] “Archivo:Termopar tipo K (diagrama simple)-LMB.png - Wikipedia, la enciclopedia libre”. Consultado: el 9 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Termopar_tipo_K_%28diagrama_simple%29-LMB.png
- [14] “Sensores de Temperatura”. Consultado: el 9 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://www.unet.edu.ve/~ielectro/Sensores%20de%20Temperatura.htm>
- [15] “Sensor De Llama O Electrodo Para Calefactores O Calderas | Envío gratis”. Consultado: el 9 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-1135952976-sensor-de-llama-o-electrodo-para-calefactores-o-calderas-_JM
- [16] Carrera, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO”.
- [17] “Reguladores Domésticos-Residenciales-Comerciales-Industriales Soluciones Avanzadas para el Control de Gas”, 2013. [En línea]. Disponible en: www.cavagnagroup.com
- [18] “¿Cómo funciona el electrodo de chispa de un horno de gas? - Conocimiento - Yangzhou Lisheng Ceramics Co., Ltd”. Consultado: el 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.yzlisten.com/info/how-does-a-gas-oven-s-spark-electrode-work-55155816.html>
- [19] “Hoja galvanizada DC01-Hefei Huigang Steel Trading”. Consultado: el 10 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.hfhgmetal.com/product_detail/148.html
- [20] “【 Qué es la Fibra de Vidrio 】 Conoce este Aislante - Sacosa”. Consultado: el 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://sacosa.es/que-es-fibra-de-vidrio/>
- [21] “Lana de Vidrio Iso-Acustic – DTA México | Su Solución Al Ahorro de Energía”. Consultado: el 9 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.dtamexico.com.mx/producto/lana-de-vidrio-iso-acustic/>
- [22] “Métodos de investigación: Qué son y cómo elegirlos”. Consultado: el 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.questionpro.com/blog/es/metodos-de-investigacion/>
- [23] F. DE Ciencias De La Ingeniería Y Aplicadas, C. Jaguaco Byron Eduardo, y I. Andrés German Arévalo Zabala Latacunga -Ecuador, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI PROPUESTA TECNOLÓGICA”, 2019.

ANEXOS



ANEXO I

PROCESO DE CONSTRUCCION

De acuerdo al análisis realizado, se realizó el desarrollo del horno a gas repotenciando su aislamiento térmico y su protección mecánica en planchas de acero galvanizado, la combinación de estos materiales reduce la transferencia de calor y ayuda a mantener la temperatura interna del horno, la fuente de calor que tendrá es una flauta de gas en forma de C la cual está conectada a un controlador de tiempo y temperatura INV-12411 a la vez el sistema está conformado también por una electroválvula, sensor de llama, bobina, termocupla, módulo de ignición los cuales serán parte del control On/off y llevaran a cabo un proceso uniforme y eficiente.

Para llevar a cabo la implementación de la propuesta tecnológica hay que seguir los siguientes pasos:

- Repotenciación de la parte mecánica del horno
- Cambio del aislamiento térmico
- Construcción del sistema de control tiempo temperatura
- Instalación del horno
- Verificación de secado mediante proceso de megado

REPOTENCIACIÓN DE LA PARTE MECÁNICA DEL HORNO

Para realizar la repotenciación de la parte mecánica se utilizó láminas de acero galvanizado de 1,4mm de espesor, se realizaron cortes en las mismas de acuerdo a las medidas de la estructura, estas láminas se fijaron a la estructura como remaches pop inoxidables 3/16, las medidas se muestran en los planos mecánicos.



Figura. 1 Daño estructural de la cámara del horno



Figura. 2 Reconstrucción cámara interna del horno



Figura. 3 Reconstrucción cámara externa del horno

CAMBIO DEL AISLAMIENTO TERMICO

Para realizar este proceso se retiró la lana de vidrio dañada de las paredes del horno y se colocó una lana de vidrio de 3cm de espesor nueva, para cada pared del horno se adecuo una medida la cual se detalla en los planos.



Figura. 4 Cambio aislamiento térmico lateral



Figura. 5 Cambio de aislamiento térmico superior

CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL TIEMPO TEMPERATURA

El sistema de control de temperatura y tiempo para el tratamiento térmico de estatores está compuesto de distintos elementos empezando por una válvula de gas que tiene una regulación de 2kg/h y una electroválvula que controla el flujo de GLP de acuerdo con el controlador INV-12411, este está distribuido a través de un quemador en C, el cual enciende por medio de una bobina o chispero comandado por un módulo de ignición. Consta de un sensor de llama el cual está a una distancia de 5cm de la bobina su función es detectar la presencia de fuego; evitando fugas de gas y por lo tanto hace que el proceso continúe y sea seguro para sus operarios, este sensor interrumpe la chispa una vez que el sistema este encendido, si el sensor no detecta fuego el sistema seguirá chispeando por 3 o 5 veces de acuerdo con lo que se programó si en este lapso no enciende el sistema se apagará por si solo, el ciclo de encendido y apagado del quemador se controla cuando la cámara del horno llegue a la temperatura deseada y así mismo cuando baje del umbral establecido el sistema se vuelve a encender, así logrando tener un proceso preciso y eficiente en el tratamiento térmico de estatores.

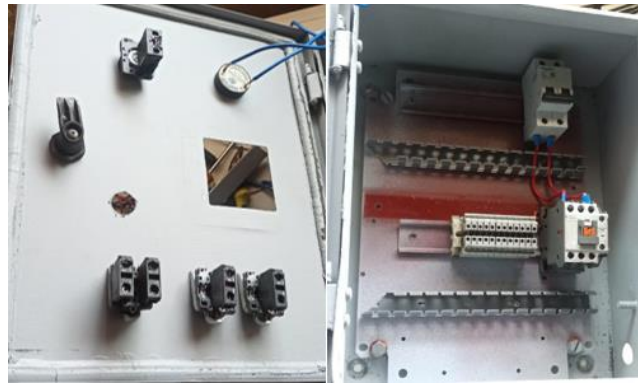


Figura. 6 Construcción tablero de control



Figura. 7 Conexiones tablero de control



Figura. 8 Construcción y ensamble del quemador y la electroválvula de gas



Figura. 9 Ensamble quemador al cuerpo del horno



Figura. 10 Ensamble y conexiones de sensores, módulo de ignición, electroválvula al cuerpo del horno y al quemador.



Figura. 11 Protección al cableado de los actuadores y el tablero de control

INSTALACIÓN DEL HORNO

Finalmente se ubicó el horno en su puesto de trabajo, y se realizó pruebas de funcionamiento de temperatura y aislamiento térmico.



Figura. 12 Implementación del horno a gas para el secado de estatores en la empresa siproelectrik.



Figura. 13 Implementación del horno a gas para el secado de estatores en la empresa siproelectrik.



Figura. 14 Prueba de temperatura entre la masa del estator en la cámara y la temperatura censada en el tablero de control en el lapso de 30 minutos.

VERIFICACIÓN DE SECADO MEDIANTE PROCESO DE MEGADO

Para verificar el correcto tratamiento térmico, se realizó pruebas resistencia en el aislamiento de los bobinados mediante el proceso de megado.

Valor Medido (MΩ)	Estado del Aislamiento	Posibles Causas	Notas
> 2000	Aislamiento Correcto	Excelente tratamiento térmico del barniz	Porcentaje de humedad en los estatores es bajo
1000 - 2000	Aislamiento Aceptable	Posible humedad en el estator	Revisión recomendada
500 - 999	Aislamiento Deficiente	Humedad en el estator	Revisión urgente requerida
		Falta en el tratamiento térmico del barniz	
< 500	Aislamiento Defectuoso	Humedad excesiva	Reparación inmediata necesaria
		Deficiencia en el tratamiento térmico del barniz	

> 2000 MΩ: Indica un aislamiento en excelentes condiciones, lo que sugiere que el tratamiento térmico del barniz y el porcentaje de humedad en los estatores están dentro de los rangos ideales.

1000 - 2000 MΩ: Aunque el aislamiento es aceptable, se debe revisar el sistema para asegurar que no haya problemas relacionados con la humedad en el estator.

500 - 999 MΩ: El aislamiento está deficiente, lo que puede deberse a humedad en el estator o falta en el tratamiento térmico del barniz. Se necesita una revisión urgente.

< 500 MΩ: El aislamiento es defectuoso, posiblemente por humedad excesiva o deficiencias en el tratamiento térmico del barniz. Requiere una reparación inmediata para evitar daños.



Figura. 15 Comprobación de la resistencia correcta



ANEXO II

MANUAL DE OPERACIÓN HORNO A GAS



Este manual proporciona instrucciones para el paso a paso en el uso y la configuración del controlador INV-12411, se va a configurar tiempo y temperatura.

Antes de empezar se va a conocer los botones e indicadores que tiene el control y se muestran a continuación.



Figura. 16 Controlador INV- 12411

1. Pantalla led roja indicador de temperatura, muestra la temperatura actual en la cámara del horno.
2. pantalla led verde muestra el tiempo que se quiere alcanzar en el proceso de manera descendente.

3. Tecla de RESET (Reiniciar el sistema)
4. Tecla PGM (Programación)
5. Tecla UP (Subir)
6. Tecla DOWN (Bajar)
7. Tecla RESET COUNTER (Reiniciar el contador)

PROGRAMACION DE TIEMPO Y TEMPERATURA

El control de tiempo y temperatura consta de un selector el cual será el control máster de nuestro tablero, al accionarse el horno empezará su proceso con los valores guardados anteriormente si se requiere cambiar los valores debe seguir los siguientes pasos

- Presione la tecla 4 “PGM” una sola vez, entonces aparecerá la pantalla roja parpadeando para cambiar estos valores debe utilizar la tecla 5 “UP” y 6 “DOWN” y podrá subir o bajar a la temperatura deseada.
- Presione nuevamente la tecla 4 “PGM” para programar el tiempo, va a parpadear la pantalla verde y puede cambiar los valores del tiempo de la misma manera con la tecla “5 y 6”.
- Para salir de estos ajustes presione una vez más la tecla 4 “PGM” y sus valores estarán listos.
- Para empezar el tiempo programado hay que presionar la tecla 7 y si requiere reiniciar el tiempo del proceso presione dos veces esta tecla.
- Una vez que se haya programado los valores requeridos estos se van a guardar en la memoria del control hasta que se vuelvan a cambiar.



ANEXO III

MANUAL DE MATENIMIENTO PREVENTIVO PARA HORNO A GAS

1.- Planificación

Frecuencia: Establecer un calendario de mantenimiento (mensual, trimestral, anual) basado en el uso y las recomendaciones del fabricante.

Recursos: Asegurar la disponibilidad de herramientas, repuestos y personal capacitado.

2. Inspección Visual y Limpieza

Revisión Visual: Inspeccionar el horno para detectar signos de desgaste, daños o fugas en conexiones de gas y conductos.

Limpieza: Limpiar el interior del horno, quemadores, y rejillas para eliminar residuos que afecten la eficiencia.

3. Verificación del Sistema de Combustión

Quemadores: Comprobar la alineación y el estado de los quemadores; realizar pruebas de encendido.

Sistema de Gas: Revisar líneas de gas, válvulas de seguridad, y comprobar la presión de gas.

4. Inspección del Sistema de Control de Temperatura

Sensores: Calibrar y revisar los sensores de temperatura; sustituir si es necesario.

Controlador: Comprobar el funcionamiento del controlador y ajustar configuraciones si es necesario.

5. Revisión de Componentes Eléctricos y Electrónicos

Cableado y Conexiones: Inspeccionar cables y conectores; asegurar conexiones firmes.

Panel de Control: Probar interruptores, indicadores y alarmas.

6. Verificación de Ventilación

Sistemas de Ventilación: Revisar extractores y conductos de ventilación; limpiar filtros y eliminar obstrucciones.

7. Pruebas Operativas

Encendido Completo: Realizar un encendido del horno y monitorear el ciclo de calentamiento.

Monitoreo de Temperatura: Registrar y comparar datos de temperatura para detectar desviaciones.

8. Documentación



Registro: Documentar todas las inspecciones, reparaciones y ajustes.

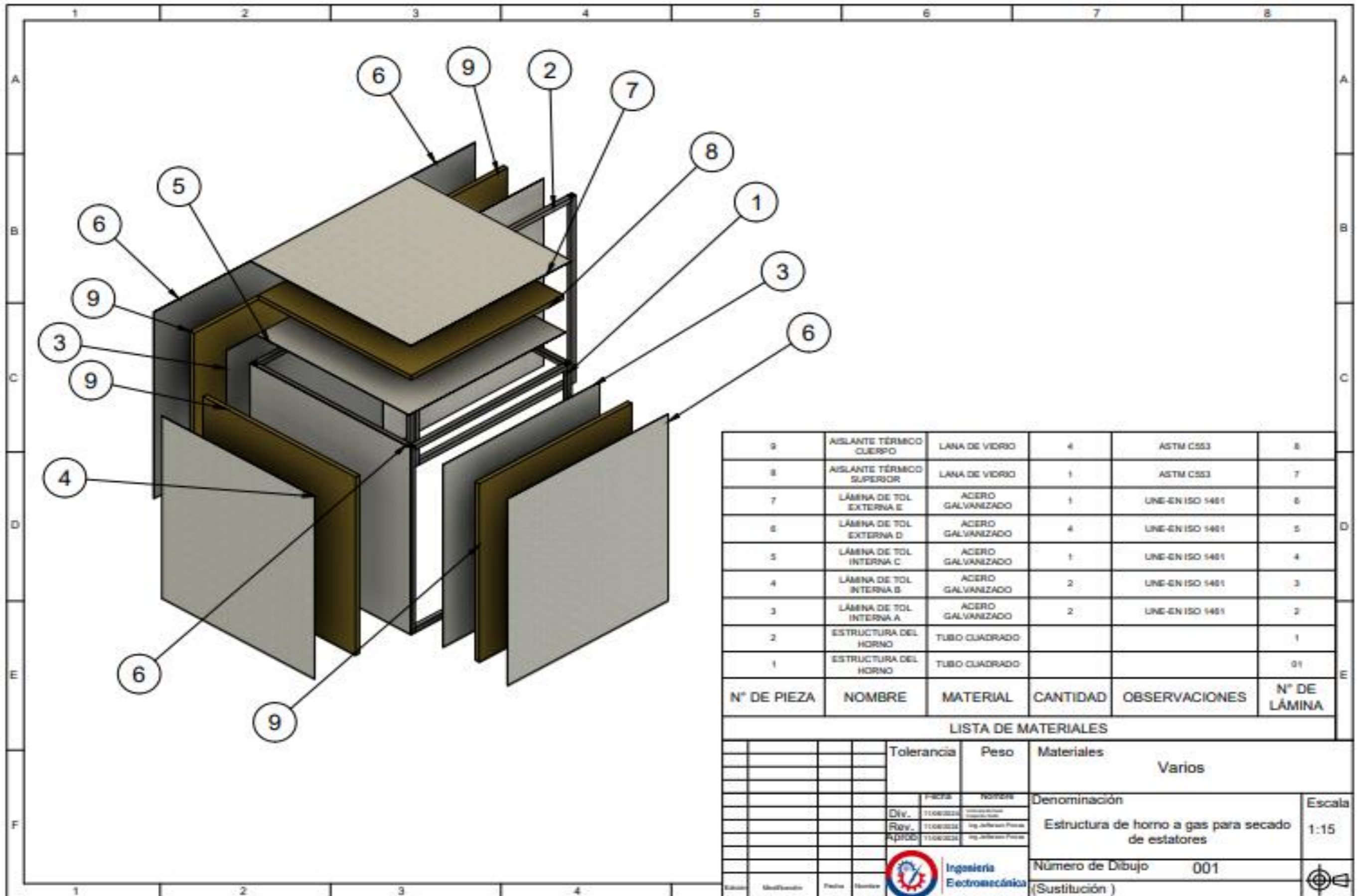
Informe: Preparar un informe del estado del horno y acciones correctivas.

9. Capacitación

Capacitación Continua: Asegurar que el personal esté capacitado y actualizado en mantenimiento y seguridad.

Este proceso asegura que el horno funcione de manera óptima, previniendo fallas y manteniendo la calidad en el tratamiento térmico de los estatores.

	<p>UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA</p>	
ANEXO IV		
PLANOS ESTRUCTURALES Y ELECTRICOS DEL HORNO PARA EL TRATAMIENTO TERMICO DE ESTATORES		
TEMA		
DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UN HORNO A GAS PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO DE ESTATORES EN LA EMPRESA SIPROELECTRIK S.A.		
NUMERO DE LAMINAS		
10		
AUTORES		
STALIN DAVID TOAPANTA QUINATOA MICHAEL STIVEN VICHICELA ROCHA		
AGOSTO 2024		



9	ASLANTE TÉRMICO CUERPO	LANA DE VIDRO	4	ASTM C553	8
8	ASLANTE TÉRMICO SUPERIOR	LANA DE VIDRO	1	ASTM C553	7
7	LÁMINA DE TOL EXTERNA E	ACERO GALVANIZADO	1	UNE-EN ISO 14801	8
6	LÁMINA DE TOL EXTERNA D	ACERO GALVANIZADO	4	UNE-EN ISO 14801	5
5	LÁMINA DE TOL INTERNA C	ACERO GALVANIZADO	1	UNE-EN ISO 14801	4
4	LÁMINA DE TOL INTERNA B	ACERO GALVANIZADO	2	UNE-EN ISO 14801	3
3	LÁMINA DE TOL INTERNA A	ACERO GALVANIZADO	2	UNE-EN ISO 14801	2
2	ESTRUCTURA DEL HORNO	TUBO CUADRADO			1
1	ESTRUCTURA DEL HORNO	TUBO CUADRADO			01
N° DE PIEZA	NOMBRE	MATERIAL	CANTIDAD	OBSERVACIONES	N° DE LÁMINA

LISTA DE MATERIALES

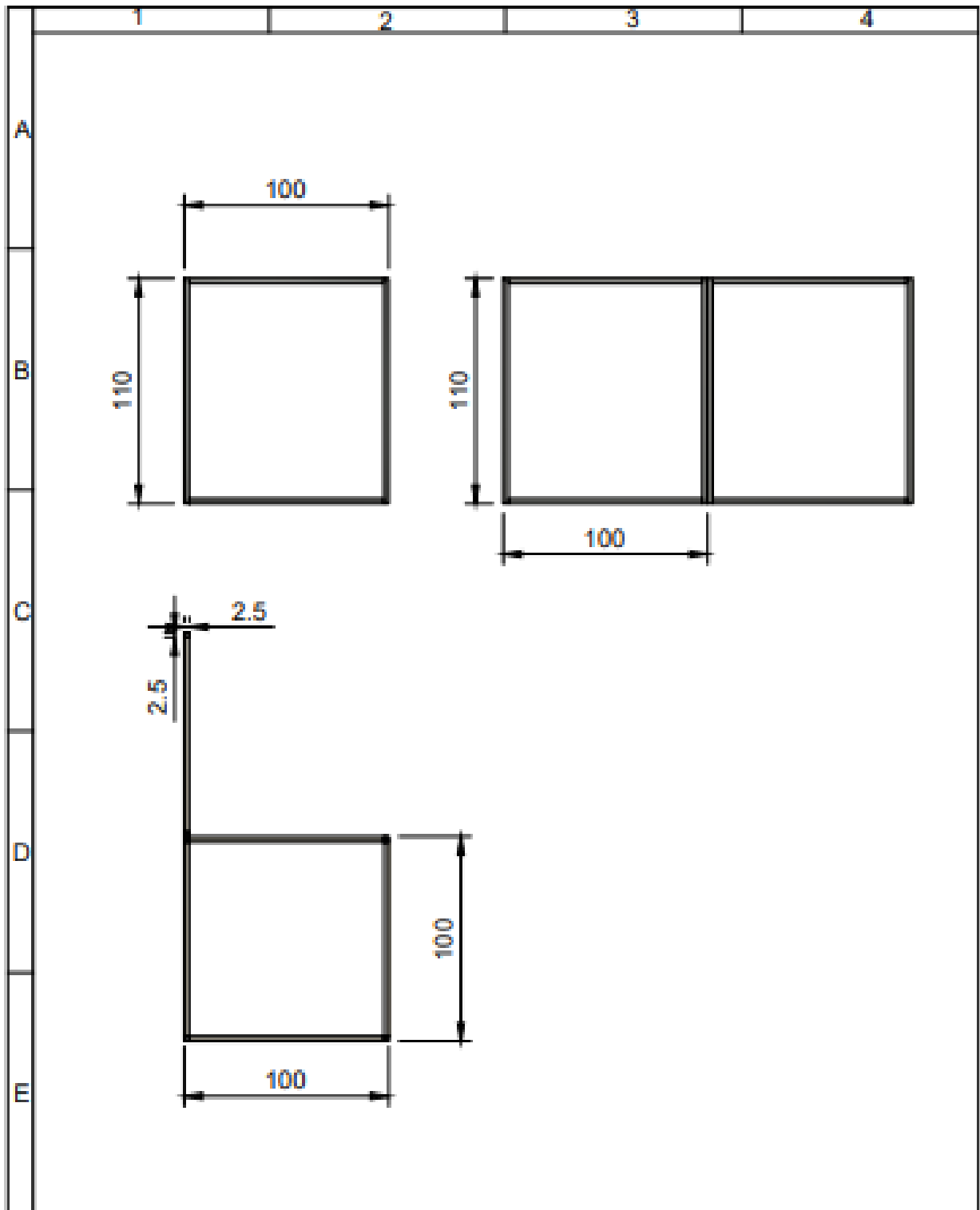
Tolerancia		Peso		Materiales	
				Varios	
				Denominación	
				Estructura de horno a gas para secado de estatores	
				Número de Dibujo 001	
				(Sustitución)	



Escala

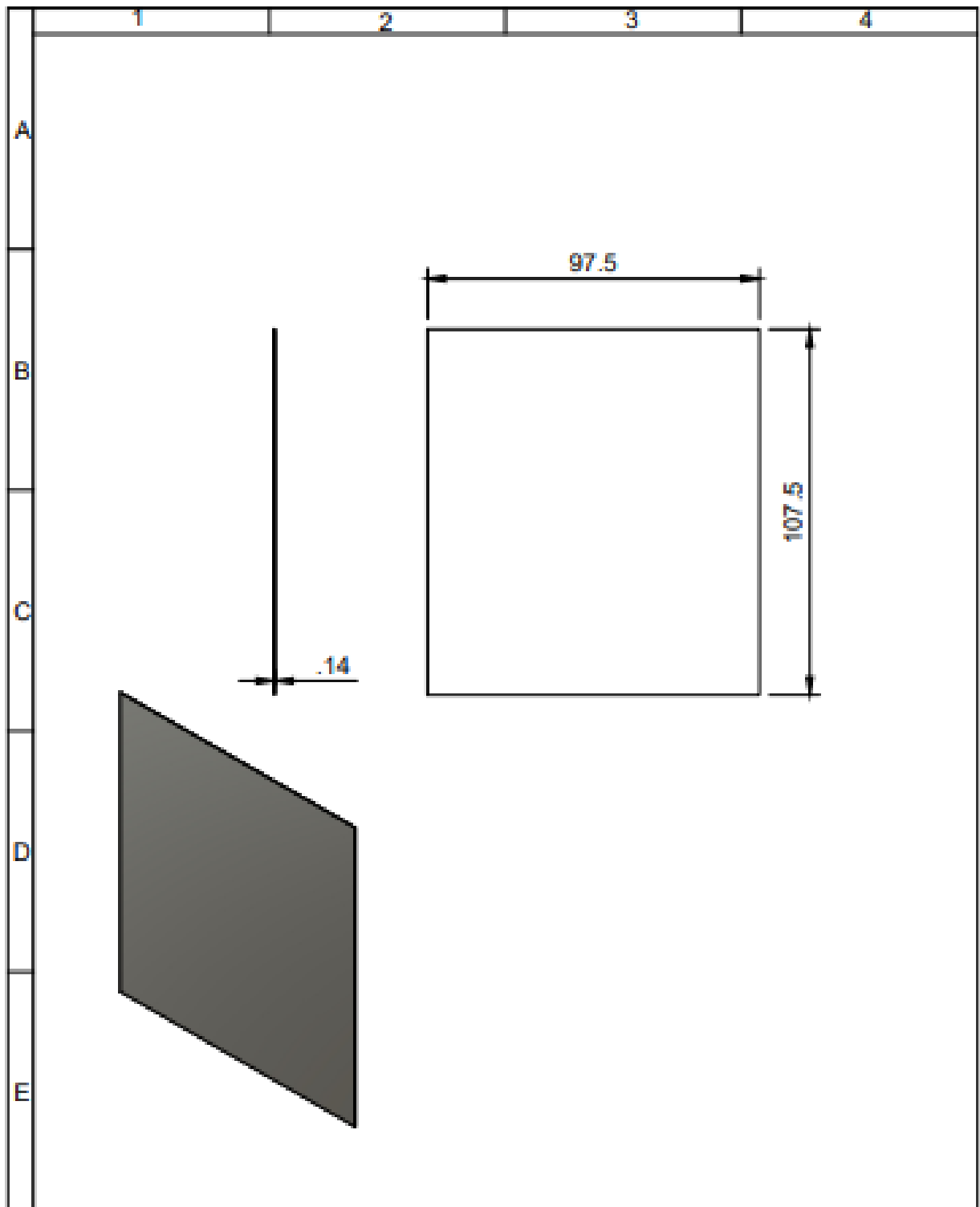
1:15





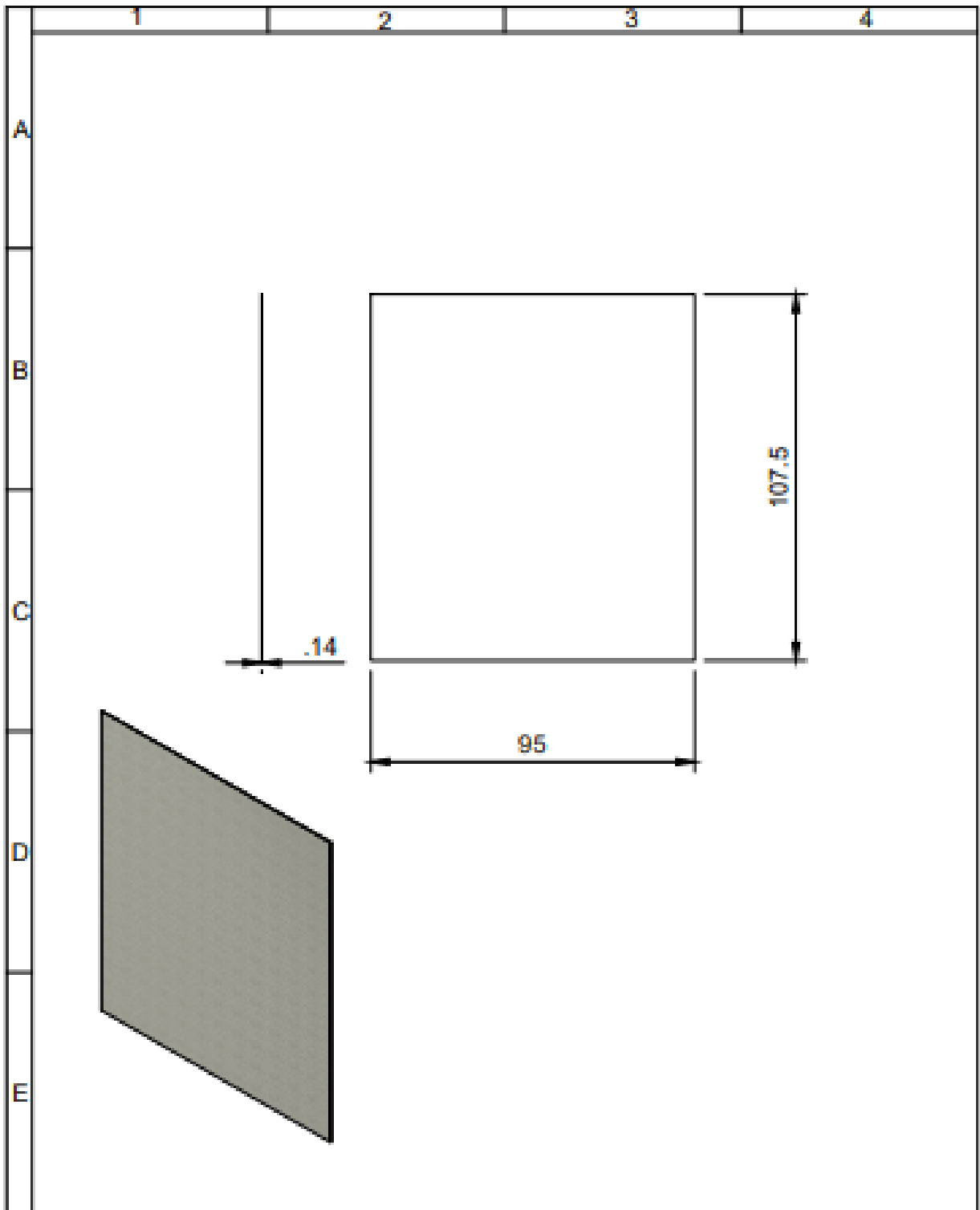


				Tolerancia	Peso	Materiales	
						Tubo cuadrado de 2.5cm	
						Denominación	Escala
				Div.	FECHA	Estructura del horno	
				Rev.	NOMBRE	1:25	
				Aprob.			
						Número de Dibujo	1
						Sustitución)	





				Tolerancia	Peso	Materiales	
						Acero Galvanizado	
				Fecha:	Nombre:	Denominación	Escala
				Div. 11/08/2024	Enrique Iñigo	Lámina de tol Interna A, lateral derecha e izquierda	1:15
				Rev. 11/08/2024	Ing. Jefferson Poma		
				Aprob. 11/08/2024			
				 Ingeniería Electromecánica		Número de Dibujo 2	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

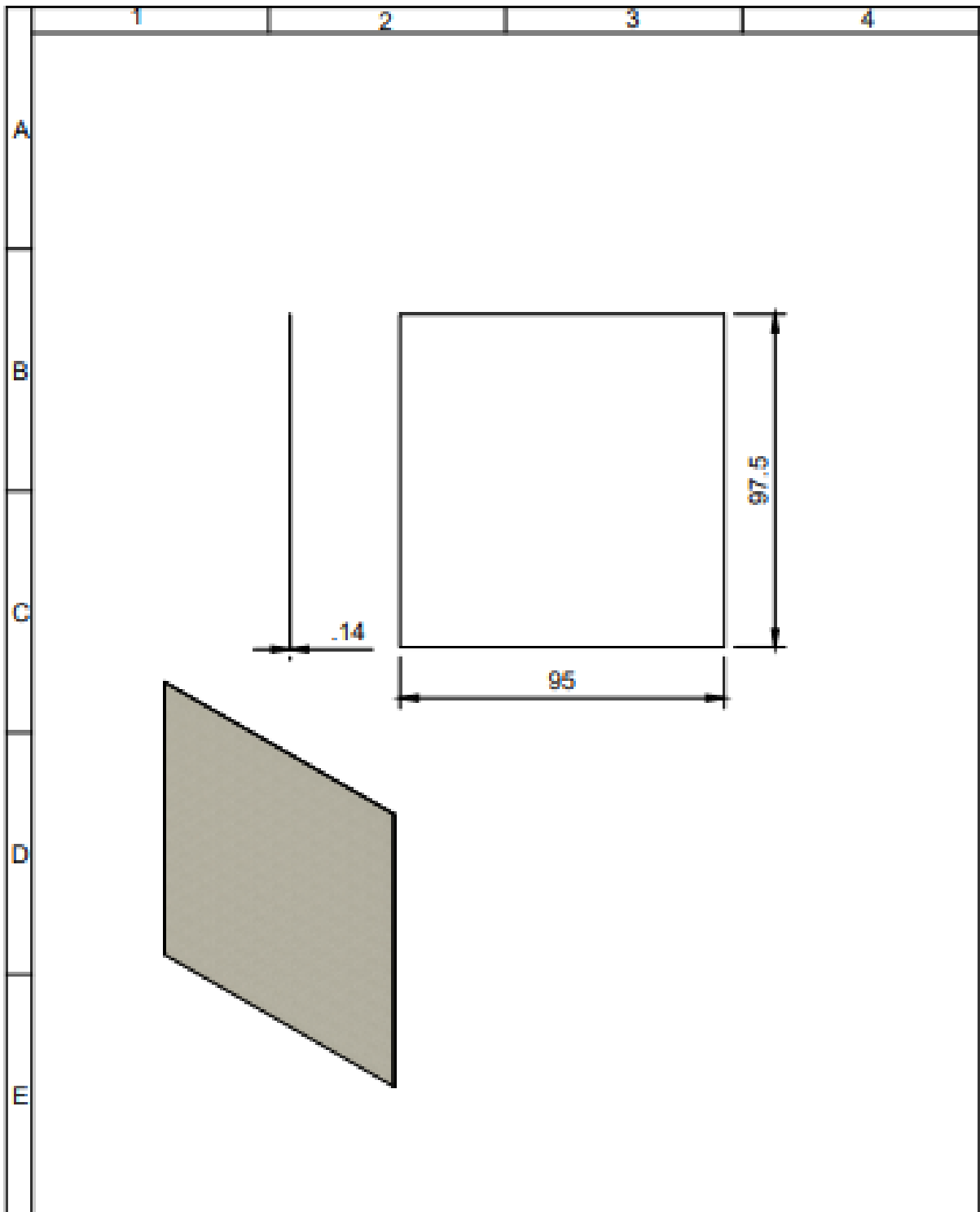


				Tolerancia	Peso	Materiales Acero galvanizado	
						Denominación	Escala
				Div.	Fecha	Lámina de tol interna B, posterior y delantera	1:15
				Rev.	Nombre		
				Aprob.			
						Número de Dibujo 3	
						(Sustitución)	



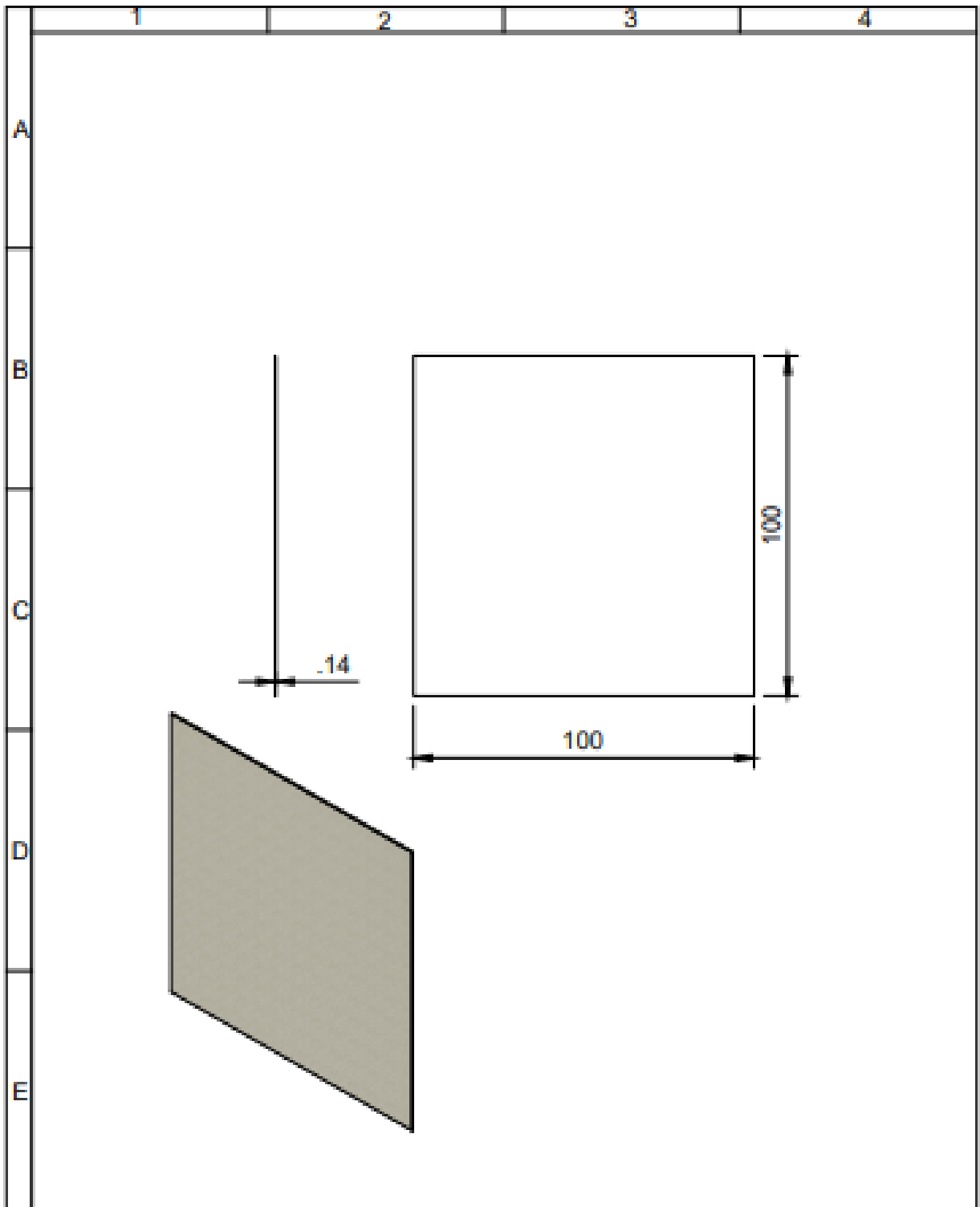
Ingeniería
Electromecánica

Edición Modificaciones Fecha Nombre



				Tolerancia	Peso	Materiales	
						Acero galvanizado	
				Div.	Fecha	Denominación	Escala
				Rév.	Nombre	Lámina de tol interna C, superior	1:15
				Aprob.			
						Número de Dibujo 4	
						(Sustitución)	



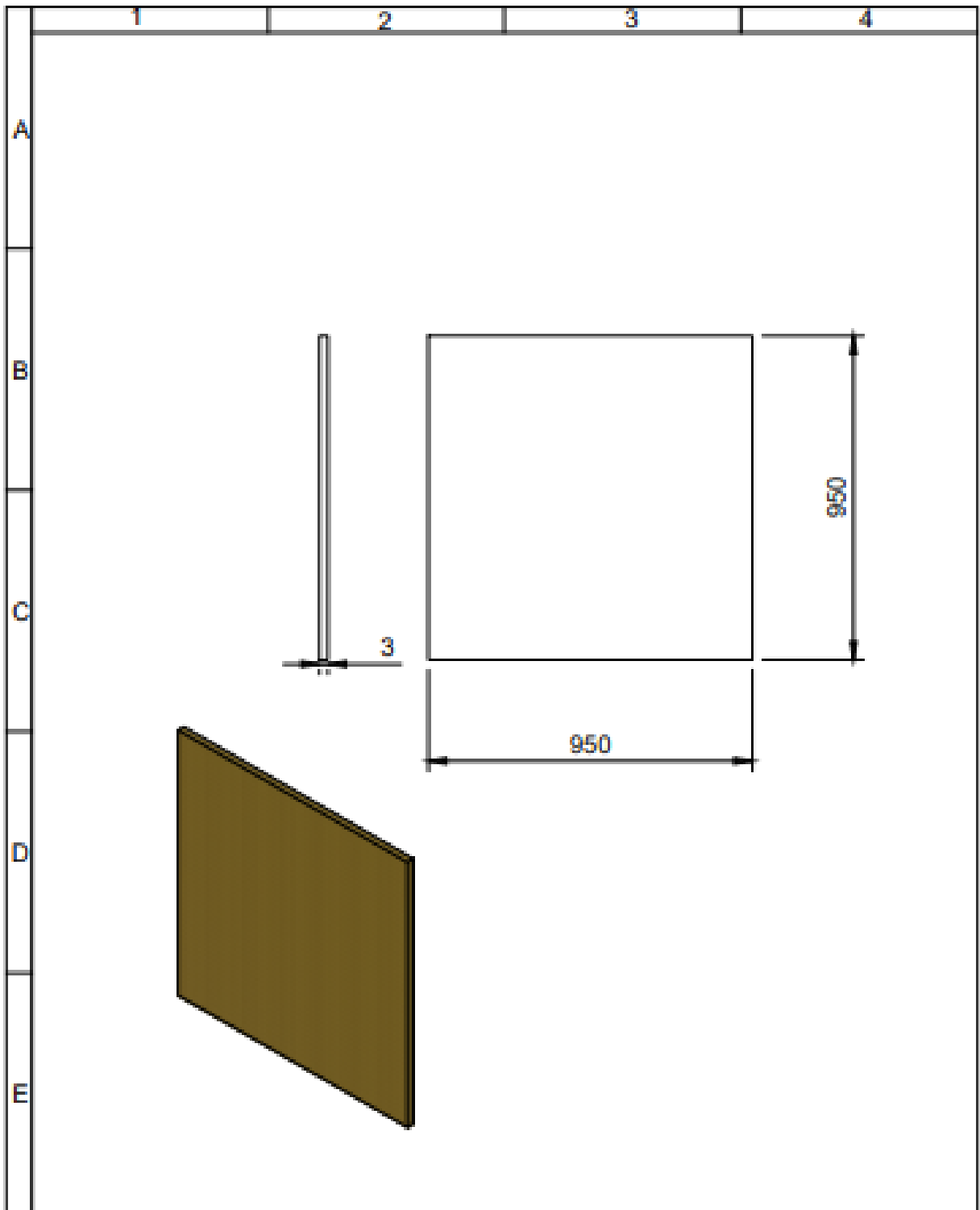


				Tolerancia	Peso	Materiales Acero Galvanizado	
						Denominación	Escala
				Div.	Fecha	Lámina de tol externa E, superior	1:15
				Rev.	Nombre		
				Aprob.			
						Número de Dibujo 6	
						(Sustitución)	



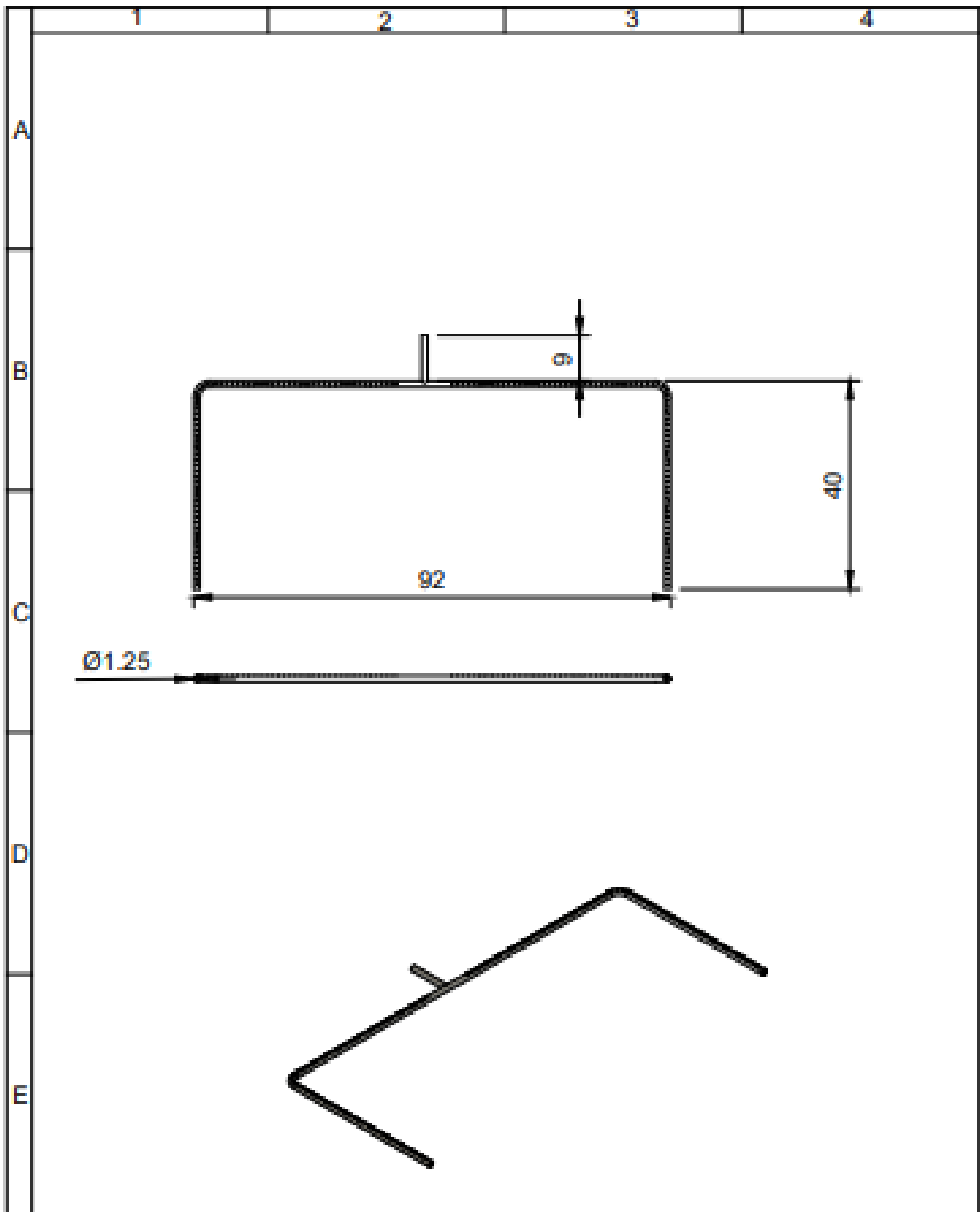
Ingeniería
Electromecánica

Edición: Modificación: Fecha: Nombre:



				Tolerancia	Peso	Materiales	
						Lana de vidrio	
						Denominación	Escala
				Dv.	11/08/2024	Ing. Jefferson Peraza	1:15
				Rev.	11/08/2024	Ing. Jefferson Peraza	
				Aprob.	11/08/2024	Ing. Jefferson Peraza	
						Número de Dibujo 7	
						(Sustitución)	





				Tolerancia	Peso	Materiales Acero galvanizado	
						Denominación	Escala
				Div.	Fecha	Quemador tipo C	
				Rev.	Nombre	1:15	
				Aprob.			
						Número de Dibujo 9	
						(Sustitución)	
Estado	Modificación	Fecha	Nombre				



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS
INGENIERIA ELECTROMECANICA



ANEXO V

FICHA TECNICA DEL AISLAMIENTO TERMICO

Ficha Técnica



Parámetros Técnicos

Temp. Max	450°C Temp. Ext. Um. 100°C	ASTM C411
Combustibilidad	Ignífugo	ASTM E84
Rigidez	Semi-rígido	ASTM C1101
Contenido de Partículas	Libre de partículas	ASTM C612
Hongos	No favorece	ASTM C665
Absorción Acústica	0.75-1.24	ASTM C423
Conductividad Térmica	< 0.044	ASTM C518
Térmico y Humedad	>0.2% por volumen	ASTM C533

Presentación en Stock

Presentación sin
cara cubierta



Resistencia Térmica

Espesor (mm)	Resistencia térmica (m ² K/W) a una temperatura media de 25°C					
	13	16	18	20	24	32
25	0.610	0.641	0.658	0.694	0.641	0.765
40	0.976	1.026	1.053	1.111	1.026	1.214
50	1.220	1.282	1.316	1.389	1.282	1.490
63.5*	1.564	1.641	1.684	1.776	1.828	1.958
75	1.829	1.923	1.974	2.083	1.923	2.210
90	2.195	2.308	2.368	2.500	2.308	2.642

Mantas de lana de vidrio resistencia térmica según norma ASTM C167
* Producto en stock

DATOS TÉCNICOS

CÓDIGO SAP	4049762	4049763	4049764
DESCRIPCIÓN	LANA R7- 50mmx1.20 x12.00m	LANA R8- 65mmx1.20 x9.25m	LANA R11- 90mmx1.20x 6.50m
Presentación	2 ROLLOS	2 ROLLOS	2 ROLLOS
Largo (mm)	12.000 (± 2%)	9.250 (± 2%)	6.500 (± 2%)
Ancho (mm)	1.200 (± 1.5%)	1.200 (± 1.5%)	1.200 (± 1.5%)
Espesor (mm)	40 (De -5% a	65 (De -5% a +15%)	90 (De -5% a +15%)
Rendimiento (m2)	+15%) 28.8	22.2	15.6
Resistencia Térmica (100xm2-K/W)	122	154	214
Conductividad Térmica (100xm2-K/W)	0.042	0.042	0.042
Densidad (kg/m3)	11.4 (± 0.5 kg/m3)	12.5 (± 0.5 kg/m3)	12.5 (± 0.5 kg/m3)
Reacción al fuego	A1	A1	A1



UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI
 CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS
 INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA



ANEXO VI

PROPIEDADES DEL AIRE EN FUNCION A LA TEMPERATURA

Temperatura - t - o (C) (grados F)	Densidad - ρ - 3 (kg / m) (slugs / cu.ft)	Calor específico - c p - (kJ / (kg K)) (Btu / lb F)	Conductividad térmica - k - (W / (m K))	Viscosidad Cinemática - ν - 6 2 x 10 (m / s)	Coefficiente de Expansión - β - 3 x 10 (1 / K)	Número de Prandtl - P r -
-150	2.793	1.026	0.0116	3.08	8,21	0,76
-100	1.980	1.009	0.0160	5.95	5,82	0,74
-50	1.534	1.005	0.0204	9.55	4,51	0,725
0	1.293	1.005	0.0243	13.30	3,67	0,715
20	1.205	1.005	0.0257	15.11	3,43	0,713
40	1.127	1.005	0.0271	16.97	3,20	0,711
60	1.067	1.009	0.0285	18.90	3,00	0,709
80	1.000	1.009	0.0299	20.94	2,83	0,708
100	0.946	1.009	0.0314	23.06	2,68	0,703
120	0.898	1.013	0.0328	25.23	2,55	0,70
140	0.854	1.013	0.0343	27.55	2,43	0,695
160	0.815	1.017	0.0358	29.85	2,32	0,69
180	0.779	1.022	0.0372	32.29	2,21	0,69
200	0.746	1.026	0.0386	34.63	2,11	0,685
250	0.675	1.034	0.0421	41.17	1,91	0,68
300	0.616	1.047	0.0454	47.85	1,75	0,68
350	0.566	1.055	0.0485	55.05	1,61	0,68
400	0.524	1.068	0.0515	62.53	1,49	0,68



UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI
 CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS
 INGENIERIA ELECTROMECANICA



ANEXO VII

PROPIEDADES DEL CONDUCTOR EN FUNCION A LA TEMPERATURA

ARTICLE 310 — CONDUCTORS FOR GENERAL WIRING

310.21

Table 310.16 Ampacities of Insulated Conductors with Not More Than Three Current-Carrying Conductors in Raceway, Cable, or Earth (Directly Buried)

Size AWG or kcmil	Temperature Rating of Conductor [See Table 310.4(A)]						Size AWG or kcmil
	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	
	Types TW, UF	Types RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, XHWN, USE, ZW	Types TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, PFA, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, XHWN, XHWN-2, XHHN, Z, ZW-2	Types TW, UF	Types RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, XHWN, USE	Types TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, XHWN, XHWN-2, XHHN	
	COPPER			ALUMINUM OR COPPER-CLAD ALUMINUM			
18 ^g	—	—	14	—	—	—	—
16 ^g	—	—	18	—	—	—	—
14 ^g	15	20	25	—	—	—	—
12 ^g	20	25	30	15	20	25	12 ^g
10 ^g	30	35	40	25	30	35	10 ^g
8	40	50	55	35	40	45	8



UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI
CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS
INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA



ANEXO VIII

ESPECIFICACIONES DEL BARNIZ

BOLETIN TÉCNICO – Barniz Electro aislante

**BARNIZ IMP LACKTHERM 1313 H**

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO:	Barniz a base de poliesterimida modificado con fenólica de secado al horno.	
PROPIEDAD DEL PRODUCTO:	Destacase por la resistencia química y excelentes propiedades dieléctricas, mecánicas y flexibilidad.	
UTILIZACIÓN RECOMENDADA:	Motores y generadores de baja y alta tensión, todas las potencias. Motores de alta resistencia a agentes químicos. Motores herméticos.	
SISTEMA DE APLICACIÓN:	Inmersión, VPI, vacío y inundación.	
SECADO AL HORNO:	6 - 8 h / 130 – 150°C, después de alcanzar la temperatura del objeto. Para obtener mejor resistencia química (motores herméticos, contacto con aceite e gases de refrigeración) recomendase tiempo de cura: 10 – 12 horas a 135 – 150°C en la pieza.	
CARACTERÍSTICA DEL PRODUCTO:	Código:	10001637 (20L) 10001638 (5L) 10001640 (200L)
	Aspecto / Color:	Ámbar
	Viscosidad Original CF4 25°C:(ASTM D1200/94)	20±5 "
	Peso específico:(ASTM D1475/98)	1,00 ± 0,01 g/cm ³
	Sólidos por peso:(ASTM D2697/03)	36 ± 2%
	Rigidez dieléctrica:(IEC60851-5)	Min. 60 KV/mm
	Extracción Del Refrigerante De Gas R134a(NBR13953):	Máx. 0,7%
	Clase térmica:(DIN46452/77)	H
	Diluyente:	Barniz Diluyente Lackth 1102. Si necesario, el producto ya está preparado para uso.
	Compatibilidad con hilos esmaltados de clase térmica:	H
	CA / CC:	CA / CC
	Ficha de emergencia:	ONU 1263
	Plazo de validez:	12 Meses

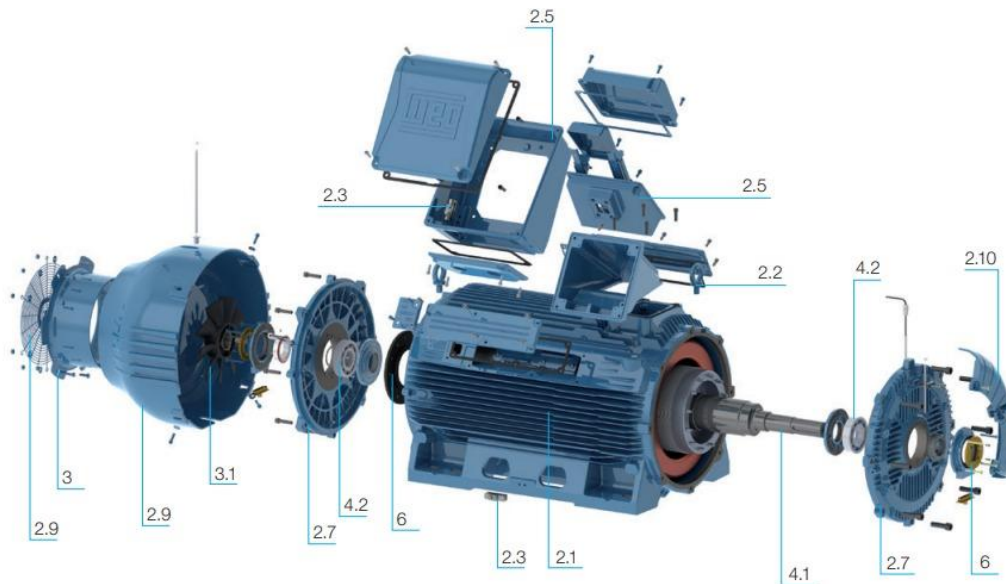


UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI
CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS
INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA



ANEXO IX

PARTES DEL MOTOR



2.10	Deflector de aire
6	Sellado
2.7	Tapa delantera
4.1	Eje
2.2	Cáncamo de izamiento
2.5	Caja de conexión para accesorios
2.1	Carcasa
2.3	Puesta a tierra de la carcasa
2.5	Caja de conexión principal
6	Disco de equilibrado
4.2	Cojinetes
2.7	Tapa trasera
2.3	Puesta a tierra interna de la caja de conexión
3.1	Ventilador externo
2.9	Tapa deflectora
3	Deflector interno
2.9	Rejilla



UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI
CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS
INGENIERIA ELECTROMECANICA



ANEXO X

CARACTERISTICAS DEL MOTOR

CARACTERISTICAS TIPICAS

Potencia		Corriente IEC	RPM	Corriente nominal en 220V A	Corriente con rotor bloqueado I _b /I _n	Momento nominal C _n Nm	Momento con rotor bloqueado C _b /C _n	Momento máximo C _m C _n	Rendimiento η %			Factor de potencia Cos φ			Factor de servicio ES	Momento de inercia J kgm ²	Tiempo máximo con rotor bloqueado en caliente/ frío (s)	Peso aprox. (kg)
HP	LW								A la potencia nominal			50	75	100				

3600 RPM - 60 Hz

0,16	0,12	65	3420	0,77	5,30	0,34	4,0	4,0	45,0	53,0	58,1	0,53	0,63	0,70	1,15	0,00010	21/46	7
0,25	0,18	65	3380	1,02	4,70	0,51	3,0	3,4	52,0	58,0	61,9	0,60	0,68	0,75	1,15	0,00012	16/35	7
0,33	0,25	65	3390	1,34	5,00	0,70	3,2	3,0	54,2	59,0	62,9	0,62	0,72	0,78	1,15	0,00014	12/26	7
0,5	0,37	65	3380	1,71	5,50	1,05	3,2	3,2	55,2	65,5	68,4	0,60	0,73	0,83	1,15	0,00019	9/20	8
0,75	0,55	71	3400	2,39	6,20	1,55	2,9	3,1	63,2	68,5	71,0	0,64	0,77	0,85	1,15	0,00037	8/18	10
1	0,75	71	3425	3,01	7,20	2,09	3,5	3,6	70,0	74,0	77,0	0,68	0,78	0,85	1,15	0,00052	8/18	11
1,5	1,1	80	3370	4,28	7,50	3,12	3,0	3,0	76,5	78,0	78,5	0,70	0,80	0,86	1,15	0,00079	8/18	14
2	1,5	80	3380	5,46	7,50	4,24	3,0	2,8	77,0	79,0	81,0	0,73	0,82	0,89	1,15	0,00096	7/15	16
3	2,2	90S	3465	8,43	7,80	6,07	3,0	3,0	78,5	80,0	81,5	0,66	0,77	0,84	1,15	0,00205	5/11	20
4	3	90L	3490	11,0	7,90	8,31	3,0	3,4	81,5	82,5	83,0	0,70	0,80	0,86	1,15	0,00266	4/9	25
5	3,7	100L	3485	12,9	8,00	10,1	2,6	2,8	81,0	84,8	85,6	0,75	0,83	0,88	1,15	0,00672	6/13	32
6	4,5	112M	3465	15,8	7,50	12,4	2,2	2,9	82,8	84,2	85,0	0,77	0,85	0,88	1,15	0,00727	8/18	36
7,5	5,5	112M	3500	19,1	8,00	15,0	2,6	3,4	84,0	86,2	86,7	0,72	0,80	0,87	1,15	0,00842	8/18	41
10	7,5	132S	3510	25,5	7,00	20,4	2,2	2,8	84,0	86,5	87,6	0,77	0,85	0,88	1,15	0,02243	12/26	64
12,5	9,2	132M	3510	31,4	7,80	25,0	2,2	2,8	85,8	87,2	87,5	0,77	0,84	0,88	1,15	0,02430	10/22	67
15	11	132M	3520	36,9	8,50	29,9	2,6	3,3	85,0	87,5	87,8	0,77	0,85	0,89	1,15	0,02804	5/11	72
20	15	160M	3540	50,3	7,80	40,5	2,3	3,0	86,4	88,6	89,0	0,75	0,84	0,88	1,15	0,04706	9/20	104
25	18,5	160M	3525	61,6	8,00	50,1	2,4	2,8	88,0	89,5	89,5	0,78	0,85	0,88	1,15	0,05295	7/15	111
30	22	160L	3530	72,1	8,50	59,5	2,5	3,0	90,2	91,0	91,0	0,78	0,85	0,88	1,15	0,06471	8/18	126
40	30	200M	3555	99,0	7,20	80,6	2,9	2,9	88,5	90,0	90,4	0,80	0,86	0,88	1,15	0,17042	11/24	213
50	37	200L	3560	120	7,50	99,3	3,0	2,9	90,0	91,5	92,2	0,81	0,86	0,88	1,15	0,20630	17/37	240
60	45	225S/M	3560	143	8,00	121	2,6	3,0	88,0	90,0	91,7	0,82	0,87	0,90	1,00	0,34083	17/37	380
75	55	225S/M	3555	174	8,00	148	2,5	2,7	89,0	91,3	92,4	0,85	0,88	0,90	1,00	0,44846	13/29	430
100	75	250S/M	3560	233	8,20	201	3,0	3,3	90,0	92,1	93,0	0,85	0,90	0,91	1,00	0,50227	11/24	465
125	90	280S/M	3575	289	8,50	241	2,5	3,0	89,0	91,5	93,0	0,80	0,85	0,88	1,00	1,27083	50/110	735
150	110	280S/M	3570	344	7,80	294	2,5	2,7	89,0	92,0	93,3	0,82	0,86	0,90	1,00	1,27083	34/75	735
*175	132	315S/M	3565	412	7,90	354	2,5	2,6	89,2	92,0	93,5	0,85	0,88	0,90	1,00	1,41204	26/57	814
*200	150	315S/M	3575	465	8,20	401	2,7	2,8	90,0	92,5	94,1	0,84	0,87	0,90	1,00	1,64738	25/55	883



UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI
CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS
INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA

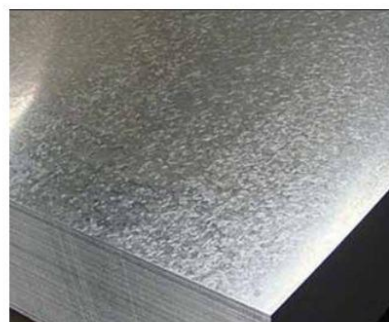


ANEXO XI

ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LA PLANCHA DE ACERO GALVANIZADO

Planchas Galvanizadas
Especificaciones Generales:

Acero Base:	Calidad comercial o según tabla de laminado al frío
Norma:	NTE INEN 115
Espesores:	0,40mm a 4mm
Rollos:	X 1219mm y por flejes
Planchas:	1220x2440mm, 4×8 pies y medidas especiales
Flor:	Grande, Regular, Mínima, Zero



Propiedades Mecánicas:

NORMA TÉCNICA		COMPOSICIÓN QUÍMICA (Max)			
De la plancha	Del Acero	C %	Mn %	P %	S %
ASTM A653 / 653M	JIS G 3302 SPCC SD	0,12%	0,50%	0,04%	0,05%

Composición Química:

NORMA TÉCNICA		PROPIEDADES MECÁNICAS		
De la plancha	Del Acero	F (Mpa)	T (Mpa)	A (%Min)
ASTM A653 / 653M	JIS G 3302 SGCC		270 min	32 %min

NORMA TÉCNICA		COMPOSICIÓN QUÍMICA (Max)			
De la plancha	Del Acero	C %	Mn %	P %	S %
ASTM A653 / 653M	JIS G 3302 SPCC SD	0,12%	0,50%	0,04%	0,05%

Recubrimiento	(Total ambas caras)	
	oz / pie ²	gr / m ²
G-40	40	120
G-60	60	180
G-90	90	270

DIMENSION, PESOS NOMINALES Y TOLERANCIA				
Espeor	Ancho	Largo	Peso Nominal	
Pulg.	mm	mm	(Kg / Plancha)	
1/40"	0,45	1220	2440	10,52
1/40"	0,5	1220	2440	11,69
1/32"	0,6	1220	2440	14,02
1/32"	0,7	1220	2440	16,36
1/25"	0,9	1220	2440	21,03
1/25"	1	1220	2440	23,37
1/20"	1,1	1220	2440	25,71
1/16"	1,4	1220	2440	32,72
1/16"	1,5	1220	2440	35,06
1/32"	1,9	1220	2440	44,4
1/8"	3	1220	2440	70,11
3/16"	4	1220	2440	93,48