



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Diseño, construcción e implementación de un horno de curado automatizado para el postratamiento de superficies metálicas aplicadas con pintura electrostática para la empresa Ferroalúvidrio.

Aragón Cuichan, Cristhian Roberto y Flores Mise, Andrés Guillermo

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Ing. Olmedo Salazar, José Fernando.

21 de Julio de 2023

TESIS- ARAGON- FLORES.pdf

Scan details

Scan time:
July 26th, 2023 at 14:50 UTC

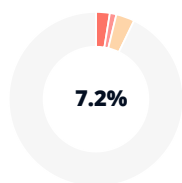
Total Pages:
113

Total Words:
28210



firmado electrónicamente por:
JOSE FERNANDO
OLMEDO SALAZAR

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	2.6%	721
Minor Changes	1.2%	342
Paraphrased	3.4%	967
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage

- AI text
- Human text

Plagiarism Results: (52)

[TESIS DE GRADO - dspace.espoche.edu.ecdspace.esp...](#) 1%

<https://fdocuments.ec/document/tesis-de-grado-dspaceesp...>

Trandieu

Iniciar sesión Vamos a empezar! ...

[Diseño y Construcción de un Sistema de Calentami...](#) 0.6%

<https://1library.co/document/y6eovwgz-diseno-construccion-...>

...

[electromecanica - \[PDF Document\]](#) 0.5%

<https://fdocuments.ec/document/electromecanica-55b07ecf...>

Julia-angelina-flores-calderon

...



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación **Diseño, construcción e implementación de un horno de curado automatizado para el postratamiento de superficies metálicas aplicadas con pintura electrostática para la empresa Ferroaluidrio**. Fue realizado por los señores *Aragón Cuichan, Cristhian Roberto y Flores Mise, Andrés Guillermo*; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permitió acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 21 de Julio de 2023



Firmado electrónicamente por:
JOSE FERNANDO
OLMEDO SALAZAR

Ing. Olmedo Salazar, José Fernando.

C.C.: 1708186307



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, Aragón Cuichan, Cristhian Roberto, con cédula de ciudadanía 1722690086 y Flores Mise, Andrés Guillermo, con cédula de ciudadanía 0503341307, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Diseño, construcción e implementación de un horno de curado automatizado para el postratamiento de superficies metálicas aplicadas con pintura electrostática para la empresa Ferroalúvidrio**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 21 de julio de 2023

Aragón Cuichan, Cristhian Roberto

C.C.: 1722690086

Flores Mise, Andrés Guillermo

C.C.: 0503341307



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Autorización de Publicación

Nosotros, Aragón Cuichan, Cristhian Roberto, con cédula de ciudadanía 1722690086 y Flores Mise, Andrés Guillermo, con cédula de ciudadanía 0503341307, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Diseño, construcción e implementación de un horno de curado automatizado para el postratamiento de superficies metálicas aplicadas con pintura electrostática para la empresa Ferroaluidrio**, En el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 21 de julio de 2023

Aragón Cuichan, Cristhian Roberto

C.C.: 1722690086

Flores Mise, Andrés Guillermo

C.C.: 0503341307

Dedicatoria

El trabajo de titulación presentado se lo dedico a toda mi familia, mis 4 hermanos y en especial a mi padre Felipe Aragón y mi madre Beatriz Cuichán, por apoyarme, guiarme, y día a día brindarme su completo apoyo, sus palabras de aliento, son los mejores padres.

Dedico este trabajo a mi hermano mayor Ing. Darío Aragón por su completo apoyo hoy y siempre y a Dios por permitirme ser un ingeniero más en la familia, siempre pensando que el camino es aún largo por recorrer en el mundo de la ingeniería.

Una dedicatoria especial para el Ingeniero Javier Marín, su familia y sus trabajadores en la empresa Ferroalúvidrio, por siempre confiar en nosotros a lo largo de este difícil camino, agradecer su lucha constante en el desarrollo del proyecto.

Este proyecto es el fin de una bonita etapa en mi vida, una etapa de aprendizaje, tropiezos, alegrías y constantes batallas del día a día. Estoy seguro que es el comienzo de cosas mucho más grandes, ahora puedo decir ¡Lo logré!

Siempre mi profundo agradecimiento a DIOS, sin él no sería nada.

Aragón Cuichan, Cristhian Roberto

Dedicatoria

Para todas las personas que observan este triunfo desde el cielo.

Dedicado a mi familia, quienes siempre me han apoyado sentimental y económicamente para formarme lejos de ellos. Agradecido por su paciencia y confianza en lo que puedo lograr, el cariño que he recibido todos los fines de semana que llegaba a casa a recargar energías para seguir adelante.

La sabiduría de mi padre, Guillermo Flores y el cariño de mi madre, Amparito Mise son cosas que siempre llevo guardado en mi corazón. A mis hermanos menores, Moisés e Isaac Flores Mise, por dejarme ser un ejemplo para ellos y siempre llenar mis días de alegría y ocurrencias. A mi hermano mayor, Stalin Flores Mise, por ser un apoyo emocional y siempre ser una salida a los problemas desde su experiencia.

Como no expresar mi gratitud a mis amigos, manifestando mi agradecimiento en cada momento que compartimos, todas las experiencias placenteras y displacenteras que vivimos para crecer como personas.

También va dedicado a todas las personas en Azogues que ayudaron para que pueda salir a flote el proyecto, a toda la empresa Ferroaluidrio, Ing. Javier Marín, su familia y colaboradores técnicos con quienes que pudimos compartir conocimientos y técnicas de ingeniería.

Flores Mise, Andrés Guillermo

Agradecimiento

Un agradecimiento especial a Dios por permitirme culminar este proyecto, brindarme las fuerzas y seguir con vida para lograr aún más cosas.

Agradezco a toda mi familia, que a lo largo de este camino me supieron apoyar día a día, su constante apoyo tiene sus frutos al permitirme realizar este proyecto.

Agradezco al Ing. Olmedo Salazar, José Fernando, por brindarnos su apoyo como tutor y guía en el desarrollo del presente proyecto de tesis.

Agradezco al Ing. Javier Marín y su familia, gracias por su lucha constante en el desarrollo de este proyecto.

Agradecimiento especial a la empresa Ferroalúvidrio por día a día abrirnos sus puertas y brindarnos todas las facilidades para desarrollar el presente proyecto.

Agradezco a todos los buenos ingenieros que conocí en la universidad, gracias por todas sus enseñanzas académicas, en especial sus enseñanzas de vida.

Agradezco a todos los compañeros que conocí a lo largo de este camino universitario, a los que lograron graduarse y a los que se quedaron en el camino, con quienes compartir gratos momentos, risas y sobre todo largas horas de estudio.

Hoy se termina una etapa en mi vida, una etapa llena de sueño, aquel muchacho que ingreso a primer semestre con el deseo de graduarse algún día, y poder decir ahora, SI SE PUDO, misión cumplida. Gracias a mí mismo por nunca rendirme y darlo todo, sabía que este día llegaría.

Y siempre, siempre, gracias DIOS una vez más...

Aragón Cuichan, Cristhian Roberto

Agradecimiento

Agradecido con Dios y sus bendiciones que me han fortalecido en este trayecto de mi vida.

A mi familia que siempre ha depositado la confianza en mí, por sus consejos, enseñanzas y el amor que siempre he recibido.

Quiero expresar mi agradecimiento a Ing. al Ing. Olmedo Salazar, José Fernando por ser un pilar fundamental y guía en el desarrollo de este proyecto.

A toda la empresa Ferroalúvidrio, por el apoyo económico para el lograr despegar este proyecto, por la confianza depositada y dejarme ser parte de esa gran familia.

Agradecido con todas las personas que fueron parte de mi carrera universitaria, docentes y amigos, que lograron desarrollar mis capacidades y formarme como ingeniero.

Agradezco a mi compañero de tesis, Aragón Cuichan Cristhian Roberto, quien ha sido parte importante de este camino, compartiendo felicidades y frustraciones, pero siempre con una buena actitud.

No tengo palabras para expresar todo el cariño a las personas que formaron parte de mi vida universitaria, agradecido por acompañarme y depositar la confianza en mí.

Flores Mise, Andrés Guillermo

Tabla de contenido

Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Dedicatoria	7
Agradecimiento	8
Agradecimiento	9
Índice de tablas	14
Índice de figuras	16
Resumen	21
Abstract	22
Capítulo I	23
Generalidades	23
Antecedentes	23
Planteamiento del problema	24
Justificación e importancia	25
Objetivos	26
Capítulo II	27
Marco teórico	27
Pintura electrostática	27
Introducción	27
Sistema de pintura electrostática	28
Característica de la pintura electrostática	29
Aplicación y curado de las pinturas termoestables	30
Sistema de aplicación de pintura electrostática	33
Ventajas y desventajas de la pintura electrostática	35
Hornos de curado de pintura electrostática	35
Clasificación	36
Partes fundamentales de un horno	38
Materiales refractarios y aislantes	39
Equipo de combustión - quemadores	40
Introducción	40
Funciones de los equipos de combustión	41

Características de los quemadores.....	42
Componentes de los quemadores	45
Quemadores a gas	46
Quemadores para combustibles líquidos.....	47
Quemadores con aire a baja presión	48
Aire de combustión.....	48
Factores para la correcta combustión.....	49
Ventiladores	50
Tipos de ventiladores	50
Instrumentación.....	54
Sensores.....	54
Sensores de temperatura.....	55
Termistores	58
Actuadores.....	60
Relés.....	61
Controladores programables	64
Descripción de un PLC'S	65
Campos de aplicación de los PLC'S.....	65
Sistemas de control.....	67
Capítulo III.....	69
Diseño de componentes mecánicos y estructura	69
Diseño de la estructura del horno.....	69
Dimensionamiento del horno.....	69
Elaboración del modelado CAD de la estructura.....	70
Cálculos de esfuerzo en la estructura.....	72
Análisis térmico del horno.....	81
Calor requerido por el horno de curado	81
Calor requerido para carga de piezas.....	84
Cálculos de pérdidas de calor en el horno.....	84
Potencia total requerida para el interior del horno.....	90
Eficiencia térmica del horno.	91
Diseño de ductos.....	92
Selección del ventilador	95
Capítulo IV	97
Diseño y selección de instrumentación eléctrica y electrónica.....	97

Determinación de las variables de control.....	97
Determinación de la Instrumentación y su ubicación.....	99
Sensores.....	99
Actuadores y pre-actuadores.....	105
Determinación del sistema de control.....	116
Hardware.....	116
Lógica de control.....	118
Dispositivos del panel de control.....	119
Capítulo V.....	121
Construcción y montaje.....	121
Diagramas de procesos.....	121
Cronograma de actividades.....	129
Recursos de fabricación.....	129
Materiales.....	129
Equipos y herramientas necesarias.....	131
Montaje.....	135
Estructura soporte.....	135
Paredes laterales y puertas.....	137
Cámara de calor.....	139
Toma de circulación de aire.....	142
Ductos.....	143
Instalación eléctrica.....	144
Implementación del sistema de control.....	145
Sensores.....	145
Actuadores.....	146
Sistema de control.....	147
Capítulo VI.....	152
Pruebas de funcionamiento y análisis de resultados.....	152
Parámetros de funcionamiento.....	152
Protocolo de pruebas para el horno.....	154
Procedimiento.....	154
Criterios de seguridad industrial.....	161
Manual de operación y mantenimiento.....	162
Operación de horno.....	162
Operación del controlador.....	164

Operación del quemador.....	166
Mantenimiento del horno.....	168
Capítulo VII.....	172
Análisis económico y financiero.....	172
Inversión en equipos y materiales.....	172
Costos del horno de curado.....	172
Costos del sistema de automatización y tablero de control.....	173
Costos de la acometida de diésel.....	174
Análisis de valores para la construcción.....	177
Depreciación y recuperación de la inversión.....	178
Manual de operación del horno de curado para la empresa Ferroalúvidrio.....	180
Capítulo VIII.....	183
Conclusiones y recomendaciones.....	183
Conclusiones.....	183
Recomendaciones.....	186
- Bibliografía.....	188

Índice de tablas

Tabla 1	Propiedades de las pinturas Híbridas.....	30
Tabla 2	Propiedades de las pinturas Poliésteres	31
Tabla 3	Propiedades de las pinturas Epóxicas.	32
Tabla 4	Ventajas y desventajas de la pintura electrostática.	35
Tabla 5	Tipos de Llama en Quemadores	43
Tabla 6	Componentes de un quemador	46
Tabla 7	Tipos de Termopares.....	56
Tabla 8	Dimensiones preliminares para la cabina del horno de curado.....	69
Tabla 9	Valores de carga para análisis de estructura	73
Tabla 10	Valores obtenidos respecto a las diferentes cargas aplicadas	81
Tabla 11	Matriz de ponderación de sensores de temperatura.....	100
Tabla 12	Propiedades del termopar tipo J.....	101
Tabla 13	Características del controlador de temperatura	102
Tabla 14	Características del sensor de flama	104
Tabla 15	Datos Técnicos del Quemador Riello 40F10.....	106
Tabla 16	Características técnicas del motor ventilador.....	110
Tabla 17	Características técnicas del ventilador centrifugo.....	110
Tabla 18	Consideraciones para la selección de los relés	111
Tabla 19	Características principales del contactor LC1D12BD	111
Tabla 20	Designación de Interruptores para el sistema.....	112
Tabla 21	Características principales del interruptor térmico modelo EZ9F56210.....	113
Tabla 22	Características principales del Temporizador analógico modelo AH3-AM.....	114
Tabla 23	Herramientas utilizadas.....	133
Tabla 24	Tiempo de calentamiento a diferentes pruebas de curado.....	153
Tabla 25	Parámetros óptimos de curado obtenidos mediante pruebas experimentales.....	153

Tabla 26	Temperatura de Curado.....	163
Tabla 27	Tiempo de curado según espesor de la pieza metálica.....	163
Tabla 28	Costo de materiales para el horno de curado	172
Tabla 29	Costo de los equipos para el horno de curado.....	173
Tabla 30	Costo de elementos para el tablero de control y el sistema de automatización	174
Tabla 31	Costos de la acometida de Diesel	175
Tabla 32	Listado de materiales complementarios	176
Tabla 33	Inversión Total.....	177
Tabla 34	Depreciación y recuperación de la inversión.....	178

Índice de figuras

Figura 1	Aplicación de pintura electrostática.....	28
Figura 2	Composición da la pintura electrostática	29
Figura 3	Curva de curado de las pinturas híbridas	30
Figura 4	Curva de curado de los poliésteres.....	31
Figura 5	Curva de curado de los epóxicos.....	32
Figura 6	Pistola de aplicación de pintura electrostática.....	33
Figura 7	Sistema de pintura electrostática	34
Figura 8	Partes Fundamentales de un Horno de Pintura	39
Figura 9	Componentes principales de un quemador	45
Figura 10	Tipos de Boquillas de Gas.	47
Figura 11	Esquema de un quemador con aire de atomización de baja presión	48
Figura 12	Ventiladores con Envolvente.....	51
Figura 13	Ventiladores Murales.....	52
Figura 14	Ventiladores Centrífugos. Montaje.....	53
Figura 15	Tipos de impulsores en los ventiladores centrífugos.....	53
Figura 16	Circuito Integrado LM335.....	57
Figura 17	Aspecto externo de un sensor de llama ultravioleta.....	60
Figura 18	Relé de Armadura	62
Figura 19	Relé de núcleo móvil	63
Figura 20	Relé tipo Reed.....	64
Figura 21	Aspecto externo de un PLC's LOGO.	64
Figura 22	PLC compacto adjunto a módulos de I/O analógicas.....	66
Figura 23	Aspecto externo de un PLC's Modular.	67
Figura 24	Interacción de los elementos de un sistema de control.....	68
Figura 25	Dimensionamiento preliminar del horno de curado	70

Figura 26 Estructura para las paredes del horno.....	71
Figura 27 Estructura para el techo del horno.....	71
Figura 28 Estructura total para horno.....	72
Figura 29 Análisis estructural para a) cargas puntuales mínimas b) cargas distribuidas máximas.....	73
Figura 30 Análisis de esfuerzo para carga de 50kg.....	74
Figura 31 Análisis de desplazamiento en Y para carga de 50kg.....	75
Figura 32 Análisis de FS para carga de 50kg.....	76
Figura 33 Análisis de esfuerzo para carga de 100kg.....	76
Figura 34 Análisis de desplazamiento en Y para carga de 100kg.....	77
Figura 35 Análisis de FS para carga de 100kg.....	77
Figura 36 Análisis de esfuerzo para carga de 250kg.....	78
Figura 37 Análisis de desplazamiento en Y para carga de 250kg.....	78
Figura 38 Análisis de FS para carga de 250kg.....	79
Figura 39 Análisis de esfuerzo para carga de 500kg.....	79
Figura 40 Análisis de desplazamiento en Y para carga de 500kg.....	80
Figura 41 Análisis de FS para carga de 500kg.....	80
Figura 42 Panel de Poliuretano.....	82
Figura 43 Diagrama esquemático de las paredes del horno.....	85
Figura 44 Analogía eléctrica para cálculo de pérdidas de calor.....	85
Figura 45 Cámara de aire para techo.....	90
Figura 46 Fricción del aire en conductos.....	93
Figura 47 Relación ducto circular y rectangular.....	93
Figura 48 Uso de ductometro en línea.....	94
Figura 49 Relación entre flujo de aire y potencia total.....	96
Figura 50 Histéresis del controlador de temperatura ST-48.....	102

Figura 51	Controlador de Temperatura HTEC Modelo ST-48.....	103
Figura 52	Fotocelda quemador modelo R20132573.....	105
Figura 53	Detalle técnico de elementos en el quemador Riello 40 F10	107
Figura 54	Aspecto exterior del Quemador Riello 40 F10.....	107
Figura 55	Ventilador Centrifugo Tecnifan TDA 15/15 L	108
Figura 56	Aspecto exterior del ventilador centrifugo modelo TDA 15/15 L	109
Figura 57	Diagrama de conexiones del contactor modelo LC1D12BD	112
Figura 58	Interruptores Térmicos modelo EZ9F56210 usados,	113
Figura 59	Temporizador Analógico Camsco modelo AH3-AM	115
Figura 60	Luces piloto usadas en el tablero de control	115
Figura 61	Controlador de Temperatura HTEC Modelo ST-48.....	117
Figura 62	Dispositivos del panel de control en vista externa.....	119
Figura 63	Dispositivos del panel de control en vista interna.....	120
Figura 64	Simbología Utilizada en los Diagramas de Procesos.....	122
Figura 65	Proceso de construcción y armado de las paredes del horno de curado	123
Figura 66	Proceso de construcción estructural del horno de curado.	124
Figura 67	Proceso de construcción del hogar de los gases de combustión del horno.	125
Figura 68	Proceso de construcción del ducto recto de aire del horno de curado.	126
Figura 69	Proceso de construcción del codo a 90° del horno de curado.....	127
Figura 70	Proceso de construcción de la toma de aire para ventilación del horno.....	128
Figura 71	Aspecto de la Estructura Metálica del horno de curado.....	129
Figura 72	Aspecto de los paneles de poliuretano para el horno de curado.....	130
Figura 73	Aspecto de los ductos para el horno de curado.	130
Figura 74	Aspecto de la cámara de calor para el horno de curado.....	131
Figura 75	Aplicación de anticorrosivo a la estructura base	135
Figura 76	Anclaje de estructura al piso	136

Figura 77	Fijación de la estructura metálica.....	136
Figura 78	Fijación de las paredes laterales y posteriores.....	137
Figura 79	Soldadura de las bisagras para puertas	138
Figura 80	Fijación de la estructura para soporte de paneles de iluminación	138
Figura 81	Construcción de los paneles de iluminación.....	139
Figura 82	Fijación mediante soldadura para el soporte de la cámara de calor.....	140
Figura 83	Montaje de las planchas de acero galvanizado para la cámara de calor	140
Figura 84	Fijación de las planchas de acero a la estructura mediante remaches	141
Figura 85	Cierre del compartimiento de la cámara de calor	141
Figura 86	Construcción de la toma de circulación de aire.....	142
Figura 87	Estructura de soporte realizada en tubo cuadrado para ductos de aire	143
Figura 88	Construcción y fijación de los ductos de aire.....	144
Figura 89	Iluminación al interior del horno de curado	144
Figura 90	Ubicación de la termocupla tipo J	145
Figura 91	Instalación de la fotocelda en el quemador	146
Figura 92	Montaje del Quemador Riello 40F10	147
Figura 93	Montaje del Ventilador Centrifugo TDA 15/15 L	147
Figura 94	Elementos de protección del tablero de control.....	148
Figura 95	Vista externa e interna del tablero de control	148
Figura 96	Conexión, marquillaje, protección y montaje del tablero de control.....	149
Figura 97	Configuración del controlador de temperatura modelo ST-48	150
Figura 98	Horno de Curado para pintura Electrostática.	150
Figura 99	Horno de Curado para pintura Electrostática.	151
Figura 100	Piezas de carpintería metálica	154
Figura 101.	Limpeza de superficies de piezas	155
Figura 102.	Montaje de piezas en el horno	155

Figura 103	Gráfica de resultados obtenidos aplicando un modo de control ON/OFF	156
Figura 104	Gráfica de resultados obtenidos aplicando un modo de control PID	156
Figura 105	Prueba de rayada en 2 tubos cuadrados de espesor 2 mm.	157
Figura 106	Prueba de Impacto	158
Figura 107	Prueba de frotación	159
Figura 108	Lote de piezas fabricadas	159
Figura 109	Lote de piezas curadas lista para exposición	160
Figura 110	Detalle de botones en controlador HTEC ST-48	165
Figura 111	Proyección recuperación de la inversión inicial	179

Resumen

El trabajo de titulación presentado a continuación se centra en el diseño, la construcción y la implementación de un horno de curado para pintura en polvo electrostática. Se inicia con el diseño previo de la cabina de pintura, su diseño estructural, diseño de la cámara de calor y diseño de ductos, se realiza el diseño del circuito de control y se realiza el dimensionamiento de todos los equipos que se involucran en el sistema, como son, quemador, ventilador, controlador de temperatura, disyuntores, contactores y demás elementos de protección y control. Posteriormente se realiza el montaje de todos los elementos empleando perfiles estructurales, canales U y correas tipo G. Se instala la cámara de combustión y la estructura soporte para los equipos, a continuación, se instala los actuadores según la normativa y detalle de operación, se realiza la acometida eléctrica a 220V y la implementación del sistema de control y todos los elementos de protección involucrados en el sistema.

Posteriormente se realizan diversas pruebas del horno en piezas metálicas propiamente diseñadas, con esto se logró obtener un sistema eficiente alcanzando los 180° en 4 minutos y tiempos de curado de 8 a 10 minutos por lote de piezas.

Finalmente, el proceso se realiza el control de calidad mediante 3 diferentes tipos de pruebas como son, rayado, impacto y frotado, de esta manera verificamos el funcionamiento óptimo del horno de curado, garantizando el correcto desempeño del sistema y las medidas de seguridad necesarias para los operadores de la empresa Ferroalúvidrio.

Palabras clave: curado, *pintura* electrostática, quemador, ventilador, combustión.

Abstract

The present degree work consists of the design, construction and implementation of a curing oven for electrostatic painting. It begins with the previous design of the paint booth, its structural design, design of the heat chamber and design of ducts, the design of the control circuit is carried out and the sizing of all the equipment that is involved in the system is carried out, such as burner, fan, temperature controller, circuit breakers, contactors and other protection and control elements. Subsequently, the assembly of all the elements is carried out using structural profiles, U channels and G-type belts. The combustion chamber and the support structure for the equipment are installed, then the actuators are installed according to the regulations and operation detail, the 220V electrical connection is carried out and the implementation of the control system and all the protection elements involved in the system.

Subsequently, various oven tests are carried out on properly designed metal parts, with this it was possible to obtain an efficient system reaching 180° in 4 minutes and curing times of 8 to 10 minutes per batch of parts.

Finally, the process is carried out for quality control through 3 different types of tests such as scratching, impact and rubbing, in this way we verify the optimal operation of the curing oven, guaranteeing the correct performance of the system and the necessary security measures for the operators of the Ferroalúvidrio company.

Keywords: curing, electrostatic painting, burner, fan, combustion.

Capítulo I

Generalidades

Antecedentes

El uso de la energía térmica es esencial en una serie de procesos industriales, ya sea el procesamiento de materiales, la creación de una atmósfera controlada o la producción de vapor para la conversión de energía u otras aplicaciones. Estos sistemas de calefacción pueden ser a base de electricidad o producidos por la combustión de hidrocarburos.

Cada sistema de calefacción tiene unas características propias y las ventajas técnicas y económicas de funcionamiento son bastante diferentes, en el caso de utilizar combustible creemos que el sistema es mucho más económico que un sistema eléctrico y de igual manera se obtiene la misma o mejor calidad de acabado en los productos. Por lo tanto, el enfoque económico recomienda utilizar un sistema de calentamiento que utilice combustible, en este caso combustible diésel, para procesar recubrimientos en polvo.

El recubrimiento en polvo es una solución económica y permite ser utilizada en una amplia gama de productos. Utilizando la aplicación electrostática y el curado en horno, el proceso produce una superficie duradera de alta resistencia con un impacto ambiental mínimo. Desde su introducción al mercado, los recubrimientos en polvo han sido el segmento de acabado industrial de más rápido crecimiento en el mundo, ya que ofrecen aplicaciones económicas y son amigables con el medio ambiente.

En países con un mayor desarrollo tecnológico, el proceso de pintura electrostática se incluye dentro de líneas de producción de la industria metal metálica para un alto volumen de producción, el proceso comienza con un pretratamiento de las superficies, después ingresa a la aplicación de la pintura electrostática en las superficies metálicas y finalmente ingresan al horno de curado.

En el Ecuador, la aplicación de pintura electrostática tiene un mayor impacto en procesos de pintura automotriz, el proceso se conoce como pintura al horno la cual ofrece un mejor acabado y durabilidad ante rayaduras en la pintura aplicada a los vehículos. Se debe mencionar que dentro de la industria de la construcción metálica industrial y metalmecánica se ha comenzado a implementarse este método para los productos obtenidos.

Planteamiento del problema

El presente proyecto busca el diseño, construcción e implementación de un horno de curado automatizado para el postratamiento de superficies metálicas aplicadas con pintura electrostática, cuyo fin es mejorar la calidad en los productos de cerrajería y carpintería metálica.

En el territorio nacional, la mayoría de empresas dedicadas al sector de cerrajería metálica no implementa nuevos procesos de acabado en sus productos, debido a que se sigue manteniendo las mismas prácticas de trabajo en pintura y acabado, dejando de lado las nuevas tecnologías que se ofrecen en la actualidad.

En el país importar un horno de curado desde el exterior se considera una inversión elevada, por temas de aduana e impuestos, es por ello que la mayoría de empresas buscan economizar estos valores implementando hornos de forma artesanal sin ningún tipo de automatización o control de calidad.

Ferroaluidrio- Constructora en Azogues planeta realizar la implementación de un sistema de pintura electrostática dentro de su línea de producción, y así ofrecer un valor agregado al acabado superficial de sus productos; por ello requiere de un horno de curado automatizado para completar la línea de producción, ya que sin este equipo no se puede mejorar el proceso para obtener el acabado superficial requerido.

Justificación e importancia

Este proyecto tiene el propósito de mejorar el proceso de producción de la Empresa Ferroalúvidrio, lograr un mejor acabado superficial de sus piezas mecánicas y con esto ayudar a los operarios a desarrollar su trabajo con mayor facilidad, de esta forma mejorando el tiempo y la calidad de producción.

El diseño del Horno es de vital importancia para la mejora e incremento de la producción, basándose en un proceso automatizado y una cámara hermética que permita menores tiempos de curación y un ahorro energético.

Con el diseño del Horno se conseguirá aplicar todos los conceptos basados en el área Termodinámica, maquinas motrices y la automatización mediante el empleo de un controlador de temperatura PID programable, para ello se contarán con dispositivos tanto de potencia y de control, tales como relés, sensores entre otros equipos.

Este horno será de fácil manipulación y operación, y contará con todos los elementos de protección y seguridad industrial necesarios para precautelar la integridad de todas las personas involucradas en la fase de producción, de igual manera se desarrollará su manual técnico de operación y mantenimiento preventivo y correctivo.

El desarrollo de este proyecto beneficiará a la empresa patrocinadora Ferroalúvidrio – Constructora de Azogues, cuya importancia se basa principalmente en:

- Disminuir los tiempos de producción en el área de pintura.
- Mejorar el acabado superficial del producto final.
- Disminuir el consumo eléctrico y combustible.
- Obtener una capa de pintura fuertemente adherente, insoluble y estable.

Objetivos

- Objetivo general

Diseñar, construir e implementar un horno de curado automatizado para el postratamiento de superficies metálicas aplicadas con pintura electrostática de la empresa Ferroalúvidrio.

- Objetivos específicos

- Diseñar y seleccionar los componentes necesarios para la implementación del horno de curado para pintura electrostática.
- Implementar sensores de temperatura y detectores de flama para el control del sistema.
- Construir y montar el equipo necesario a fin de lograr un correcto funcionamiento y alto desempeño.
- Realizar un Diseño Térmico con una alta eficiencia energética que permita reducir los costos de producción.
- Diseñar y seleccionar el algoritmo de programación óptimo para automatizar el sistema de control empleando controladores lógicos programables. (PLC's).
- Realizar pruebas para evaluar el funcionamiento del horno y sus componentes con la finalidad de comprobar que el producto obtenido cumpla con los estándares de calidad requeridos.

Capítulo II

Marco teórico

Pintura electrostática

Introducción

En este capítulo detallaremos el uso de sistemas de pintura electrostática, sabiendo que en varios procesos industriales la utilización de fuentes de energía calorífica es indispensable. Los sistemas de calentamiento pueden ser obtenidos mediante energía eléctrica o mediante la combustión de algunos hidrocarburos.

En el área de la manufactura de diferentes elementos como piezas metálicas, electrodomésticos, vehículos y partes automotrices, es necesario dar un recubrimiento con el fin de lograr una mejor estética, lograr mejores acabados, una mayor duración y evitar la corrosión de los productos.

Uno de los procesos industriales que en la actualidad se utiliza para recubrir los diferentes elementos es el proceso de pintura electrostática o conocido también como pintura en polvo. Este proceso de recubrimiento en polvo funciona induciendo voltajes relativamente altos a partículas las cuales son añadidas en la pintura para que por medio de una fuerza electrostática se adhieran a la pieza metálica.

Los productos a los cuales se les aplica pintura electrostática y posteriormente son curados al horno con este proceso poseen diversas ventajas respecto a la pintura convencional entre ellas son más durables y resistentes a los impactos ambientales y presentan una mayor resistencia a la corrosión.

Sistema de pintura electrostática

El sistema de pintura electrostática consiste en aplicar tensión a las partículas de pintura en polvo, lo que crea la adherencia de la pintura sobre la superficie a pintar por fuerza electrostática. En comparación con las pinturas tradicionales, la pintura tiene mejores propiedades, lo que garantiza una mayor durabilidad y resistencia. (Sanders, 2020)

- No contienen ningún tipo de solventes
- Es fácil de realizar su procesamiento, como su limpieza
- Se puede aplicar en una gran variedad de sustratos
- No contienen compuestos orgánicos volátiles
- Existe una gran gama de colores

Figura 1

Aplicación de pintura electrostática



Nota. Tomado de (Sanders, 2020)

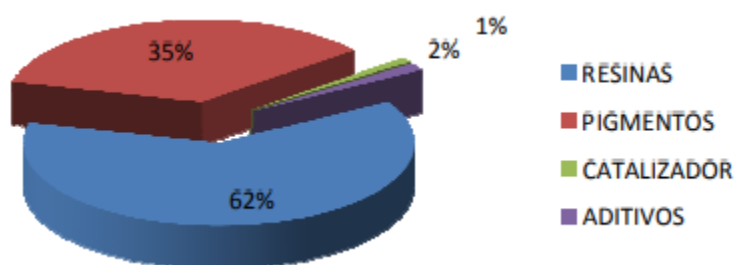
La Figura 1 muestra una pistola pintura electrostática en acción. Este recubrimiento en polvo consta de varios compuestos, que se describen con más detalle a continuación:

- **Resinas:** Las resinas, son materiales sólidos que provienen de distintas fuentes vegetales, y delimitan el rendimiento de la pintura.
- **Pigmentos:** Los pigmentos son los que generan el poder de recubrimiento, como también los colores, el acabado, la textura, y el brillo de la pintura.

- **Agentes de curado:** Los agentes de curado llegan a reaccionar cuando están en contacto con la resina para formar una película continua y protectora.
- **Aditivos:** Los aditivos ayudan a que se genere un mejor desempeño y terminado de la pintura. (Camacho & Hinojosa, 2010)

Figura 2

Composición de la pintura electrostática



Nota. Tomado de (WESCO, PINTURAS WESCO, 2020)

Característica de la pintura electrostática

Las propiedades más importantes de la pintura electrostática más relevantes son:

- Sus ingredientes reaccionan a altas temperaturas y forman una capa altamente pegajosa, insoluble y estable.
- Cubre diversas superficies metálicas, lisas o ranuradas.
- Penetra en lugares difíciles.
- Reducir el riesgo de accidentes provocados por el uso de sustancias volátiles como disolventes y resinas.
- No es necesario utilizar recubrimientos anticorrosión antes del proceso de pintura electrostática.
- El manejo y transporte de la pintura en polvo es más fácil y menos peligroso que los líquidos.

- Alto rendimiento de la aplicación, ya que las materias primas no utilizadas en el proceso de pintado se pueden recoger y reutilizar. (Cantos, & Ochoa, , 2019)

Aplicación y curado de las pinturas termoestables

Híbridas

Tabla 1

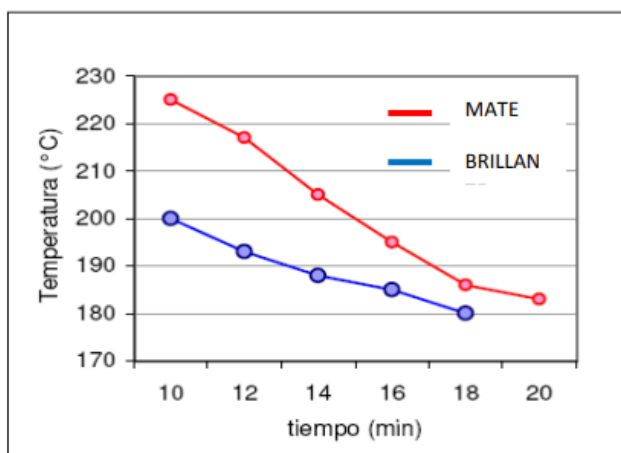
Propiedades de las pinturas híbridas

HIBRIDOS	
CONDICIONES DE APLICACIÓN	
Peso Específico	1.5 - 1.8 g/cm ³
Método de Aplicación	Corona
Voltaje	60 - 70 kV
Espesor	60 micras
Rendimiento Teórico	9 - 11 m ² /kg
Superficies Donde se Puede Aplicar	Acero laminado en frío Acero Galvanizado Aluminio Magnesio
Preparación Superficial	Desengrasado Limpieza Química Fosfatizado con Zinc o Hierro

Nota. Recuperado de (WESCO, PINTURAS WESCO, 2020)

Figura 3

Curva de curado de las pinturas híbridas



Nota. Tomado de (Arnum, 2005)

Poliéster

Tabla 2

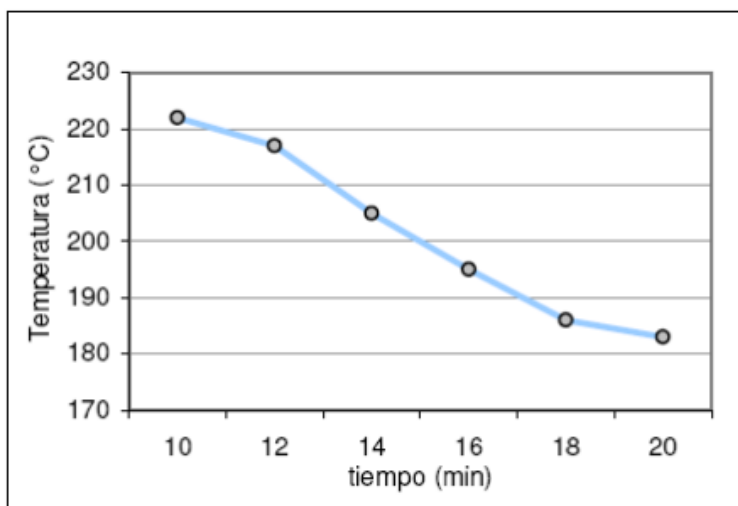
Propiedades de las pinturas Poliésteres

POLIÉSTER	
CONDICIONES DE APLICACIÓN	
Peso Específico	1.5 - 1.8 g/cm ³
Método de Aplicación	Corona
Voltaje	60 - 70 kV
Espesor	60 micras
Rendimiento Teórico	9 - 11 m ² /kg
Superficies Donde se Puede Aplicar	Acero laminado en frío Acero Electro galvanizado
	Aluminio Vidrio
	Cerámica
Preparación Superficial	Desengrasado Limpieza Química Fosfatizado con Zinc o Hierro

Nota. Recuperado de (WESCO, PINTURAS WESCO, 2020)

Figura 4

Curva de curado de los poliésteres



Nota. Tomado de (Arnum, 2005)

Epóxica

Tabla 3

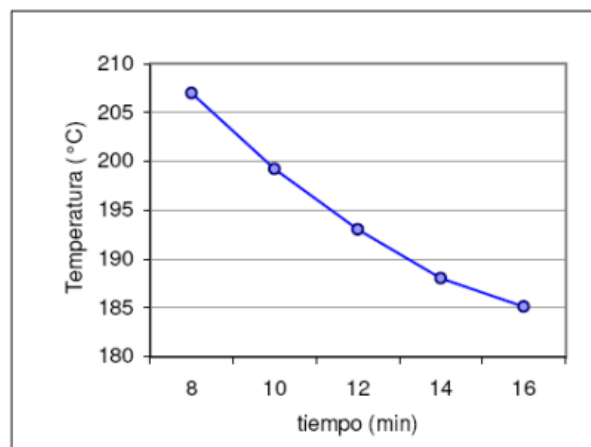
Propiedades de las pinturas Epóxicas.

EPOXI	
CONDICIONES DE APLICACIÓN	
Peso Específico	1.5 - 1.7 g/cm ³
Método de Aplicación	Corona
Voltaje	60 - 70 kV
Espesor	60 micras
Rendimiento Teórico	9 - 11 m ² /kg
Superficies Donde se Puede Aplicar	Acero laminado en frío Acero Galvanizado Aluminio Magnesio
Preparación Superficial	Desengrasado Limpieza Química Fosfatizado con Zinc o Hierro

Nota. Recuperado de (WESCO, PINTURAS WESCO, 2020)

Figura 5

Curva de curado de los epóxicos



Nota. Tomado de (Arnum, 2005)

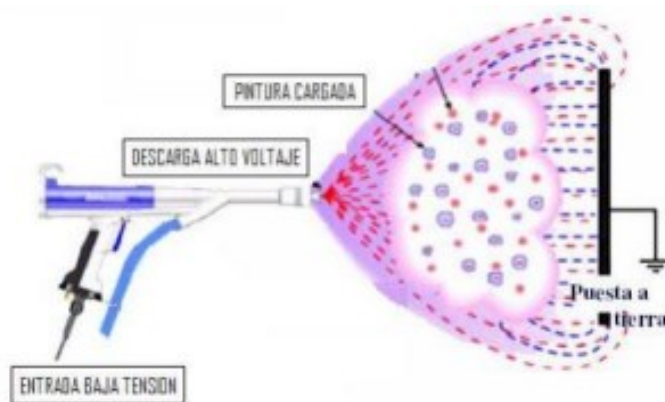
Sistema de aplicación de pintura electrostática

El principio de funcionamiento del sistema de pintura electrostática consiste en:

La pintura electrostática es transportada por medio de mangueras gracias a una corriente de aire comprimido a alta velocidad que genera un efecto de succión, las partículas de la pintura electrostática son dirigidas directamente hacia la pistola de aplicación, que son sistemas de tipo corona y están cargadas eléctricamente con valores de voltaje elevados, suelen tener valores de 60KV a 90KV y con corrientes muy bajas, esto asegura que no exista la posibilidad de un choque eléctrico. Este procedimiento carga negativamente a las partículas de la pintura electrostática, que son atraídas hacia la superficie metálica y se encuentra conectada a tierra. En la **Figura 6** se puede observar un esquema simulando el funcionamiento de aplicación de las partículas de pintura, sobre una superficie (Francescutti, 2007)

Figura 6

Pistola de aplicación de pintura electrostática



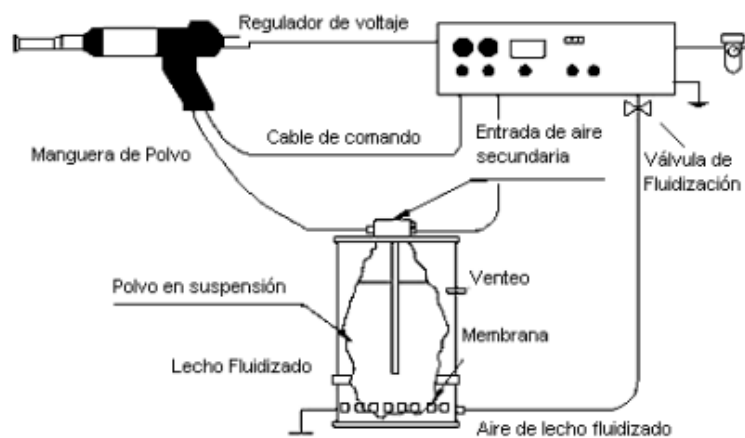
Nota. Tomado de (Francescutti, 2007)

Este tipo de sistema para deposición de pintura electrostática consta de los siguientes componentes, como se puede observar en la Figura 7

- Contenedor para la pintura electrostática
- Inyectores
- Mangueras
- Pistolas con sistema de alta tensión
- Panel de control

Figura 7

Sistema de pintura electrostática



Nota. Tomado de (Francescutti, 2007)

Ventajas y desventajas de la pintura electrostática

Tabla 4

Ventajas y desventajas de la pintura electrostática.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Evitar que se corra la pintura, ya sea por falta de presión o por la inexperiencia del operador	No se aplica en materiales cuyos espesores son mayores a 1" por el costo que representa en combustible, debemos decir que se le puede aplicar, pero no resulta rentable aplicar este proceso de pintado
El metro cuadro de pintado resulta un 40% más económico que con el pintado a soplete.	Al principio resulta costoso la implementación de todo el equipo necesario para pinta y curar, ya que el horno y el equipo de pintado representan una alta inversión.
Permite que el terminado sea más rápido al lograr una alta eficiencia en el tiempo de curado, disminuyendo así los tiempos de producción.	Es limitado el pintado de estructuras cuyas dimensiones son grandes, ya que se requeriría un horno de mayor tamaño.
Debido a las propiedades de la pintura en polvo se evita el riesgo de producir un incendio.	Los repuestos de los equipos que intervienen en el proceso de curado son costosos.
Es polvo que se desperdicia puede ser reutilizado nuevamente	

Nota. Recuperado de (Agudelo, 2022)

Hornos de curado de pintura electrostática

Generalmente utilizado en procesos industriales, un horno es un dispositivo que permite transferir calor a diferentes productos. Estos productos pueden ser de varios tipos como: acero, aluminio, aleaciones metálicas, cerámicas, polímeros y muchos otros innumerables productos.

Las plantas de combustión se utilizan principalmente para convertir materias primas en productos cambiando su estado físico transfiriéndoles calor. Durante este proceso, su composición química puede permanecer sin cambios. (Powdertronic, 2006)

El calor que se produce en el horno se puede obtener de la combustión del combustible, o se puede convertir en calor con electricidad, todo depende del proceso y de las propiedades que se quieran lograr con la materia prima. (Powdertronic, 2006)

Este proyecto se centrará en los hornos de baja temperatura. Esto se debe a que el curado de los recubrimientos a base de polvo electrostáticos es un proceso de polimerización que tiene lugar a temperaturas en el rango de los 200 °C.

Clasificación

A nivel industrial, los hornos se pueden clasificar en base a varios parámetros, los cuales se mencionarán a continuación:

Clasificación según su aplicación

Hornos domésticos.

Se trata de hornos de baja temperatura, utilizados principalmente para cocinar, asar o asar a la parrilla, y solo se utilizan en el hogar. (Marks, 1984, págs. 7-54)

Hornos industriales

Son hornos de temperatura media-alta que se utilizan para transformar materias primas calentándolas o fundiéndolas. (Marks, 1984, págs. 7-54)

Clasificación por su fuente de energía

Según el tipo de combustión

Los hornos de pintura electrostática generalmente utilizan combustibles sólidos, líquidos o gaseosos, según la característica propia del quemador, y las llamas resultantes pueden colocarse en la parte baja a los lados o en la parte de arriba o a su vez en una combinación, si el calentamiento de la sustancia lo requiere. (Marks, 1984, págs. 7-54)

Conversión de la energía eléctrica en calor

Se basan en el uso de resistencias eléctricas, que tienden a alcanzar altas temperaturas cuando pasan corrientes elevadas, con transferencia de calor únicamente por conducción. (Marks, 1984, págs. 7-54)

Clasificación según el proceso

Hornos de carga por lotes.

El material permanece estacionario durante todo el proceso de calentamiento hasta que se retira la carga y se reemplaza por otra. (Marks, 1984, págs. 7-54)

Hornos continuos.

En estos hornos, el material no permanece estacionario, sino que se mueve a lo largo del horno a medida que se calienta utilizando mecanismos de transporte como rodillos, transportadores de tornillo o incluso la gravedad. (Marks, 1984, págs. 7-54)

Clasificación según su función

Hornos de fusión.

La característica principal es fundir materiales ferrosos o minerales para formar aleaciones de hierro. (Marks, 1984, págs. 7-54)

Hornos de recalentar

Su función es calentar piezas durante los procesos de laminación, extrusión, forja, estampación y conformado. Mantenga siempre las piezas firmes y observe cómo se ablandan. (Marks, 1984, págs. 7-54)

Hornos para tratamiento térmico.

Su función es obtener las propiedades del material.

Algunos de los tratamientos existentes son:

- Recocido, normalizado, temple, revenido, etc.
- Cementación, carbonitruración, cianuración, etc.
- Recubrimiento por galvanización, estañado, esmaltado, etc.

Horno industrial de fuego directo o de fuego indirecto.

Un horno puede considerarse un horno de fuego directo si la llama o los gases de combustión circulan sobre la carga del horno. Este tipo de horno se usa a menudo cuando la carga se debe mover a temperaturas muy altas o muy altas. Para productos que pueden verse afectados por llamas o gases de combustión, se prefieren métodos de calentamiento alternativos como tubos radiantes o intercambiadores de calor. (Marks, 1984, págs. 7-54)

Partes fundamentales de un horno

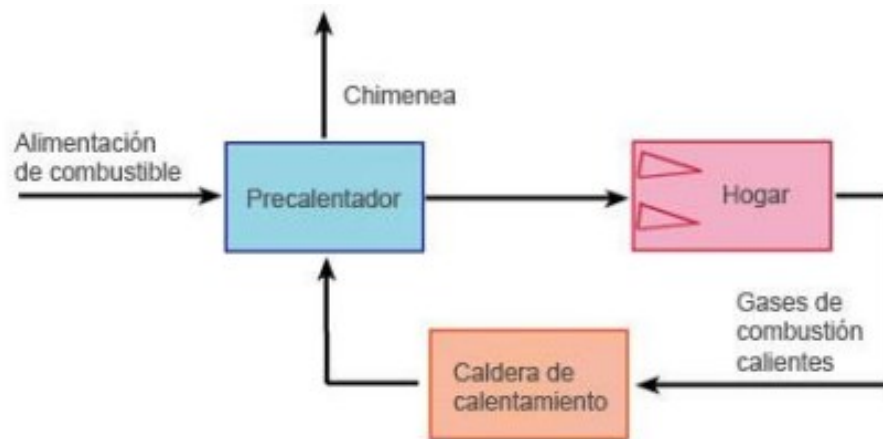
Las partes fundamentales de un horno son:

- **Chimenea o hogar de combustión.** - Los gases de combustión se producen donde se encuentra el quemador. Puede coincidir con la cámara de calentamiento o ser una cámara separada.

- **Revestimiento aislante.** - Recubre todas las cámaras y equipos del horno.
- **Chimeneas y tubos de escape para gases de combustión.** - suelen estar conectados a intercambiadores para aprovechar la energía térmica que tienen antes de liberarla a la atmósfera. Ver **Figura 8.** (Marks, 1984, págs. 6 - 187)

Figura 8

Partes Fundamentales de un Horno de Pintura



Nota. Tomado de (Francescutti, 2007)

Materiales refractarios y aislantes.

El propósito del material refractario es aislar el interior del horno para los siguientes beneficios: (Marks, 1984, págs. 6 -187)

- Reducir la pérdida de calor.
- Conseguir unas condiciones ambientales exteriores adecuadas y aceptables.

La capa de aislamiento interior debe ser capaz de:

- Poder soportar ambientes interiores como humo, circulación de aire, gases reductores, etc. (resistencia térmica).

- Contener metales fundidos y no metales, etc., químicamente no reactivos a alta temperatura. (resistencia química).

Dependiendo de la temperatura de trabajo es decir temperatura la máxima que deban soportar, se tiene: (Marks, 1984, págs. 6 -187)

- Producto resistente al calor (hasta 150 °C). La humedad afecta en gran medida sus propiedades aislantes.
- Producto aislado (hasta 1000 °C). Los hay de muchos tipos, como la tierra de diatomeas, el carbonato de magnesio, la lana mineral, la arcilla expandida y la perlita, el silicato de calcio, etc.
- Producto refractario (hasta 1500 °C). No tienen un punto de fusión fijo, sino que se derriten a diferentes temperaturas. Entre ellos se encuentran los silicatos de aluminio, las arcillas refractarias, los hidróxidos y óxidos de aluminio, así como el carburo de silicio.
- Fibras cerámicas (hasta 1500 °C). Son capaces de soportar la exposición directa a la llama.

Equipo de combustión - quemadores

Introducción

Con el tiempo, la gente comenzó a utilizar el fuego para diversas actividades, como cocinar o cocer piezas de cerámica. El fuego se origina principalmente de madera o carbón. Le tomó muchos años a la gente aprender a controlar el proceso de quema de combustibles líquidos o gaseosos. Además, se debieron desarrollar tecnologías para aumentar la eficiencia de estos procesos y encontrar los mejores métodos alternativos de transferencia de calor de la llama a la materia prima. (Martín, E. , 2008)

Un quemador es un dispositivo mecánico diseñado para producir una llama estable de forma y tamaño predeterminados. El atomizador divide el combustible líquido en pequeñas gotas. El combustible y el gas se introducen en la corriente de aire de combustión para garantizar una buena mezcla y estabilizar la base de la llama. (Martín, E. , 2008)

El diseño del quemador varía según el tipo de combustible utilizado, ya que se trata de forma diferente para conseguir una buena combustión. Dispone de quemadores de gas, combustible líquido y combinados. (Martín, E. , 2008)

Por este motivo se han desarrollado importantes inventos como los quemadores y las cámaras de combustión. A continuación, se explicará esto en detalle diferentes aspectos de los quemadores. (Martín, E. , 2008)

Funciones de los equipos de combustión

- Las funciones principales de los incineradores se detallan a continuación:
- Colocar la llama donde emita calor útil.
- Iniciar y mantener el encendido de la llama.
- Mezcla aire/combustible de forma correcta.
- Volatilizar combustibles sólidos y líquidos
- Suministro de aire y combustible en proporciones correctas para facilitar de manera segura los cinco procesos anteriores (Reed, 2001)

Características de los quemadores

Entre las variables más destacadas que caracterizan a un quemador de otro se tiene las siguientes:















- Forma de la llama
- Volumen de combustión
- Estabilidad
- Velocidad de llama

Forma de la llama

Las variables que afectan la forma de la llama del quemador pueden ser la presión de la mezcla o el volumen del aire de combustión. Si la presión de agitación es mayor, la llama se expande. Sin embargo, si se aumenta la cantidad de aire primario o de combustión, la llama se acortará. También debe tenerse en cuenta que, en condiciones de alta presión ambiental, así como en condiciones de alta velocidad de combustión, el espesor de la llama puede disminuir.

Hay otras variables que son más críticas para la geometría de la llama. A menudo, estas variables son una función del diseño del quemador, que determina las velocidades relativas de los flujos de aire y combustible. Si la turbulencia es lo suficientemente grande como para crear una buena mezcla de aire y combustible, produce una llama corta y contundente similar a la Tabla 5 numeral B o C. Las velocidades bajas, por otro lado, crean una llama delgada y alargada. El siguiente diagrama muestra los principales tipos de llamas disponibles. (Martín, E. , 2008)

Tabla 5*Tipos de Llama en Quemadores*

TIPO DE LLAMA	GAS	DIESEL
A. Tipo Jet		
B. Cabeza de Pin		
C. De bola		
D. Cónica		
E. Larga, luminosa, alzada		
F. Larga, luminosa, tipo manguera		
G. Alta velocidad		

Nota. Recuperado de (Reed, 2001)

Volumen de combustión

El volumen de combustión se puede definir como el espacio ocupado por el combustible y los productos intermedios durante la combustión. Los volúmenes quemados varían mucho según el diseño del quemador, la presión y la velocidad del flujo, el tipo de combustible y la aplicación del quemador. Por ejemplo, hay quemadores de gas que tienen presiones operativas extremadamente altas y pueden producir hasta cuarenta millones de Btu/h pie. Por el contrario, existen quemadores para calderas diseñados para producir de 20.000 a 40.000 Btu/h pie. (Reed, 2001)

Estabilidad

La estabilidad es una característica muy importante de los quemadores, principalmente por seguridad. Un quemador estable es aquel que mantiene el encendido dentro del rango de presión normal y el rango de relación aire-combustible, incluso en condiciones de frío. Un

problema que ha perseguido a los usuarios de quemadores durante años es la inestabilidad del quemador en hogares estrechos y fríos. En muchos casos, la única forma de elevar la temperatura del horno es operar los quemadores a baja potencia o con una rica mezcla de aire hasta que el horno alcance una temperatura cercana a los 1600°F. (Reed, 2001)

En cámaras de combustión estrechas, donde el contenido de oxígeno no supera el proporcionado por las conexiones internas del quemador, la combustión abundante consumirá rápidamente todo el oxígeno disponible en la cámara, pero una llama estable debe continuar ardiendo a pesar de la atmósfera circundante. (Reed, 2001)

Para mantener la ignición en cámaras de combustión frías, se desarrollaron quemadores de llama estable que no requerían más soporte que sus boquillas refractarias. Sin embargo, incluso cuando la cámara de combustión funciona con una relación aire-combustible estequiométrica, el problema permanece en la cámara de combustión estrecha y fría. El problema está relacionado principalmente con la circulación de los productos de combustión dentro de la boquilla del quemador, alrededor de la raíz de la llama, creando una atmósfera fría con poco oxígeno. (Reed, 2001)

Después de rediseñar el quemador, es posible llenar toda la boquilla refractaria con una mezcla combustible en aire y evitar la recirculación de productos de combustión dentro de la boquilla. Esto elimina los problemas de inestabilidad con cámaras de combustión estrechas y frías. (Reed, 2001)

Velocidad de llama

Los quemadores de alta velocidad le permiten estandarizar la temperatura en el horno y también mejorar la transferencia de calor por convección. De hecho, una llama de alta velocidad promueve la recirculación de aire caliente en el horno, lo que mejora la eficiencia energética del horno y, por lo tanto, ahorra costos de energía. Otro uso de los quemadores de alta velocidad es

alcanzar y rodear la carga con aire caliente a alta velocidad, reduciendo así el tiempo de calentamiento de la carga, especialmente para cargas más gruesas, porque la radiación es insuficiente para calentar el centro del material. (Reed, 2001)

Componentes de los quemadores

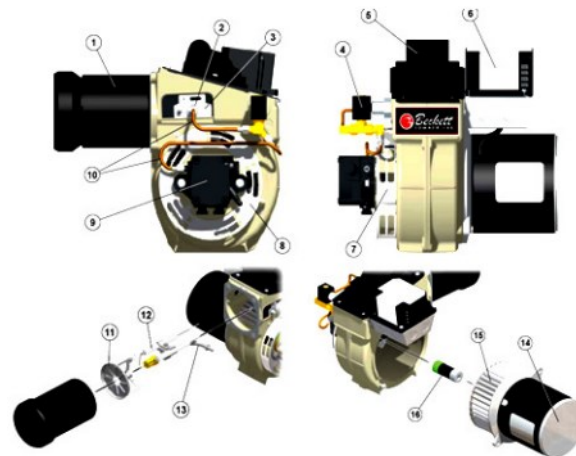
Un quemador es un dispositivo mecánico diseñado para producir una llama estable de forma y tamaño predeterminados. El atomizador divide el combustible líquido en pequeñas gotas. El combustible y el gas se introducen en la corriente de aire de combustión para garantizar una buena mezcla y estabilizar la base de la llama.

El diseño del quemador difiere según el tipo de combustible utilizado, ya que recibe un tratamiento diferente para garantizar una buena combustión. (Reed, 2001)

Los componentes principales de un quemador son los que se muestran a continuación

Figura 9

Componentes principales de un quemador



Nota. Tomado de (CF500, 2016, pág. 15)

Tabla 6*Componentes de un quemador*

NÚMERO	DESCRIPCIÓN
1	Tubo de aire
2	Acople
3	Placa de ensamblaje
4	Válvula solenoide de bloqueo de combustible
5	Igmitor
6	Controlador
7	Succión de aire
8	Obturador de aire
9	Bomba de combustible
10	Cañerías de combustible
11	Cabeza del quemador
12	Electrodo
13	Boquilla
14	Motor
15	Rodete del soplador
16	Acoplamiento
17	Brida

Nota. Recuperado de (CF500, 2016, pág. 15)

Quemadores a gas

Los gases no requieren preparación preliminar para quemarse, a diferencia de los combustibles líquidos. La función de la tubería de gas es dirigir el flujo de gas hacia la corriente de aire para lograr una buena mezcla de gas/aire y estabilidad de la llama. Las varillas de gas consisten en un tubo simple con una boquilla de gas unida al extremo. Los puertos de inyección para introducir gas en la corriente de aire de combustión están ubicados en la boquilla de gas.

(Martín, E. , 2008)

Figura 10

Tipos de Boquillas de Gas.



Nota. Tomado de (Reed, 2001)

Cada quemador está equipado con al menos un quemador piloto de gas para asegurar el encendido de la llama principal.

Quemadores para combustibles líquidos

Los gasóleos, como el diésel y otros combustibles líquidos, deben evaporarse antes de quemarse. En la antigüedad, el método de vaporización se lograba mediante calentamiento, como una estufa de gasolina o un quemador de keroseno, donde el combustible se vaporizaba a través de una superficie de calentamiento. Actualmente se utilizan quemadores atomizadores y vaporizadores en la industria. El primer paso es la atomización, donde el líquido se introduce en millones de gotas con un diámetro de 10 a 1000 micras mediante el efecto Venturi. (Martín, E. , 2008)

Los requisitos para una evaporación adecuada después de la pulverización son los siguientes:

- Se debe mezclar completamente una gran cantidad de aire con las partículas de combustible.
- El ingreso de aire debe ser turbulento y en velocidades relativamente altas con esto se logra una transferencia de masa del combustible.

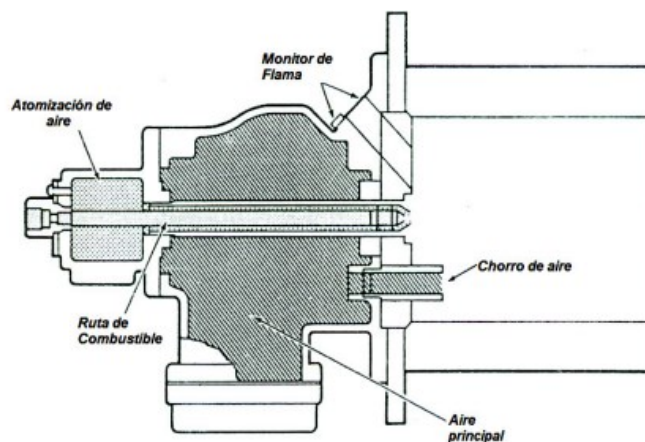
- Que la boquilla del quemador se encargue que el calor de la llama sea transferido a la mezcla.

Quemadores con aire a baja presión

Este tipo de sistema de nebulización mezcla dos fluidos y utiliza de 1 a 2 psi de aire. Este tipo de atomización se puede considerar como un tipo promedio, que utiliza alrededor del 10 % del requerimiento total de aire para la atomización del combustible. Los inyectores de baja presión generalmente están diseñados para combustible con una viscosidad de 100 SSU. La presión del combustible en el quemador suele estar entre 1 y 5 psi. (Martín, E. , 2008)

Figura 11

Esquema de un quemador con aire de atomización de baja presión



Nota. Tomado de (Reed, 2001)

Aire de combustión

El oxígeno necesario para la combustión suele ser suministrado por el flujo de aire. Para que el combustible se queme por completo, necesitamos proporcionar suficiente oxígeno.

Durante la combustión, la proporción de combustible a oxígeno (aire) es crítica. Si esta relación es demasiado baja, el combustible será demasiado pobre para quemarse, y si es demasiado alta, la mezcla será demasiado rica para quemarse.

El límite de la proporción de combustible a oxígeno se denomina límite de inflamabilidad del combustible. Los límites de inflamabilidad inferior y superior indican el porcentaje de combustible en el aire por debajo y por encima del cual la llama no se propagará. (Baño Arias & Sosa Arce, 2021)

Factores para la correcta combustión

En la práctica, la combustión perfecta no es importante, lo principal es quemar de la manera más eficiente posible. En cualquier proceso de combustión se debe prestar atención a los siguientes tres puntos: (Baño Arias & Sosa Arce, 2021)

- Realizar la fase previa respecto al combustible, conocido como el sangrado del líquido en la bomba del quemador para establecer el ingreso de combustible.
- Mezclar combustible y aire en la proporción y temperatura correctas para el encendido y la combustión.
- Asegurarse de mantener suficiente calor en la zona de combustión para establecer la temperatura ambiente y garantizar la vaporización adecuada del combustible.

Resumiendo, la combustión depende de "3T":

- Tiempo;
- Temperatura y;
- Turbulencia.

Ventiladores

Un ventilador es una máquina giratoria que se utiliza para aumentar la presión del aire o del gas, su función es forzar el aire a través de conductos, sistemas de ventilación y sistemas de calefacción. (Solerpalau, Sistemas de Ventilación, 2012)

Las presiones presentes en un ventilador son las siguientes:

- **Presión estática.** - Es el resultado entre la diferencia de la presión estática en su salida y la presión total a su entrada. Esta es la presión causada por la compresión.
- **Presión dinámica.** - Esta es la velocidad media de la salida del ventilador. Esta es la presión creada por el movimiento del impulsor.
- **Presión total.** - Es la suma de la presión estática y dinámica.

Tipos de ventiladores

Los ventiladores se clasifican en:

- Ventiladores Axiales.
- Ventiladores Centrífugos.

Ventiladores axiales

Estos son los que tienen entradas y salidas de aire en el mismo eje. Su principal característica es que funcionan a baja presión y se utilizan para mover grandes cantidades de aire. Los ventiladores axiales se dividen en: (Solerpalau, Sistemas de Ventilación, 2012)

- Ventiladores de Propulsión.
- Ventiladores con Envolvente.
- Ventiladores Murales.

Ventiladores de propulsión

Los ventiladores impulsores funcionan casi axialmente, aspirando aire por un lado y expulsándolo por el otro. Se utilizan para la ventilación de viviendas y lugares de trabajo para garantizar el confort. La velocidad de trabajo es de 600 a 1750 rpm, para lo cual se utilizan motores eléctricos (Solerpalau, Sistemas de Ventilación, 2012)

Ventiladores con envolvente

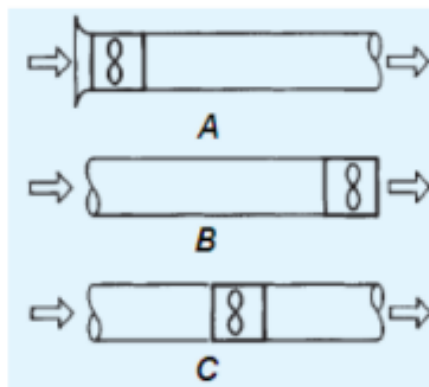
Los ventiladores en caja son muy similares a los ventiladores accionados, la diferencia es que el ventilador en caja está montado en un conducto cilíndrico. (Solerpalau, Sistemas de Ventilación, 2012)

Se clasifica según la posición del impulsor, Ver **Figura 12**.

- Impulsores. - Tienen entrada libre y salida entubada.
- Extractores. - Tienen entrada entubada y salida libre.
- Impulsores Extractores. - Tienen entrada y salida entubada.

Figura 12

Ventiladores con Envolvente.



Nota. Tomado de (Solerpalau, Sistemas de Ventilación, 2012)

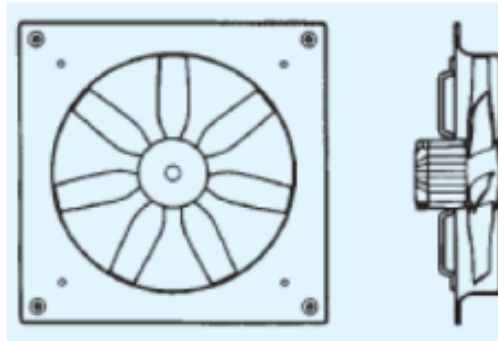
Ventiladores de pared

Este tipo de ventilador se llama extractor, se usan en el campo de la ventilación, ver

Figura 13. (Solerpalau, Sistemas de Ventilación, 2012)

Figura 13

Ventiladores Murales.



Nota. Tomado de (Solerpalau, Sistemas de Ventilación, 2012)

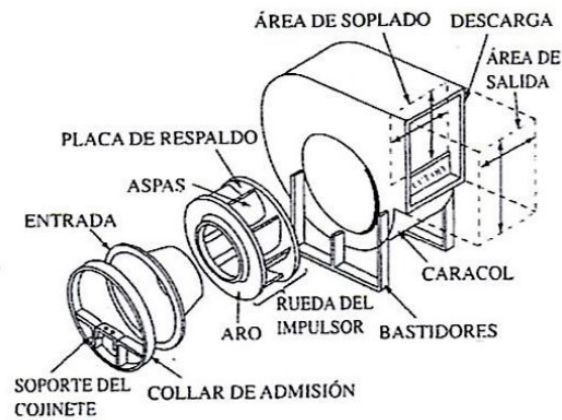
Ventiladores centrífugos

Un ventilador centrífugo aspira aire a través del centro del rotor y las aspas crean la energía cinética y la expulsan. La entrada y salida de aire forman un ángulo de 90°.

El aire forzado por las aspas pasa a través de la carcasa del ventilador, donde la energía cinética se convierte en mayor presión de aire y finalmente se entrega al conducto de aire acoplado. (Solerpalau, Sistemas de Ventilación, 2012)

Figura 14

Ventiladores Centrífugos. Montaje.



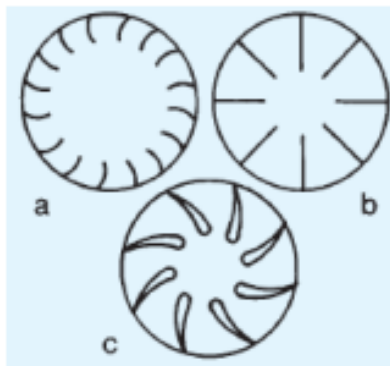
Nota. Tomado de (Solerpalau, Sistemas de Ventilación, 2012)

Los ventiladores centrífugos pueden tener diferentes rodetes o impulsores, entre estos tenemos: (Solerpalau, Sistemas de Ventilación, 2012)

- Impulsores hacia delante (a),
- Impulsores hacia atrás (b)
- Impulsores radiales. (c)

Figura 15

Tipos de impulsores en los ventiladores centrífugos



Nota. Tomado de (Solerpalau, Sistemas de Ventilación, 2012)

Instrumentación

Actualmente se están mejorando los procesos industriales gracias a los sistemas de automatización implantados en la industria. De esta forma, se reducen los tiempos, los errores de producción y, lo más importante, se logra la independencia del sistema. Se introducen herramientas de control y medición para automatizar el proceso. Los manómetros se utilizan para medir variables físicas como presión, temperatura, humedad, nivel de líquido, etc. Los datos generados por el instrumento son recibidos, procesados y enviados a la salida por el controlador. Las herramientas de control más utilizadas en la actualidad son los programadores lógicos programables, que son microcomputadoras que reciben señales de las entradas, las procesan y las envían a los actuadores. (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Sensores

La automatización en los sistemas de producción requiere el uso de componentes capaces de adquirir y transmitir información relevante para el proceso de producción; Los sensores cumplen estos requisitos en la tecnología de medición. Los sensores proporcionan información al controlador en forma de variables de proceso individuales. Estas variables son físicas, tales como: temperatura, presión, fuerza, longitud, ángulo de giro, nivel y caudal de líquido, etc. (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Existen algunos tipos de sensores como:

Sensores de posición

Su capacidad para determinar la posición de un objeto específico. Los sensores fotoeléctricos se utilizan para determinar la posición, su funcionalidad se basa en el uso de fuentes de señal óptica (lámparas, LED, diodos láser, etc.) y la unidad receptora de las señales como fotodiodos, fototransistores o LDR, etc. (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Sensores de contacto

Son dispositivos muy sencillos porque es un interruptor que se activa o desactiva tocando algunos objetos, este tipo de sensor es ampliamente utilizado en el campo de la automatización. (Camacho & Hinojosa, 2010). (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Sensores digitales

Estos sensores se alteran debido a un estímulo, este cambio aparece como un valor de cero o uno cuando funciona, es decir en código binario no contiene valores intermedios y los datos de voltaje que se puede obtener con este tipo de sensor es de 5V o 0V. (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Sensores analógicos

La mayoría de los sensores envían una señal continuamente a lo largo del tiempo, los rangos típicos son de 4 a 20 mA, de 0 a 20 mA, 0 a 5V, 1 a 5V, etc. (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Sensores mecánicos

Son los que transforman la acción física del elemento medido en acción mecánica, generalmente movimiento y/o calor. (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Sensores electromecánicos

Es un sensor que utiliza un elemento mecánico y un transductor eléctrico mediante una unión flexible. (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Sensores de temperatura

La temperatura es el parámetro físico más común medido en aplicaciones industriales, incluso cuando el parámetro de interés no es la temperatura, y por lo tanto es muy importante ya

que sirve como punto de referencia y diagnóstico en muchos casos. Desde un punto de vista electrónico, los diversos métodos de medición de temperatura son principalmente: (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

- Termopares.
- Circuitos integrados.
- Sensor de temperatura Resistivos

Termopares

El funcionamiento de los termopares se basa en el voltaje creado por la unión de dos metales en contacto térmico debido a su comportamiento eléctrico. Este tipo de sensor tiene un bajo costo, responde rápidamente a los cambios de temperatura y su señal es bastante estable, por lo que tiene una linealidad y precisión razonables. (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Tipos de termopares

En la **Tabla 7** se indica la clasificación de los diferentes tipos de termocuplas.

Tabla 7

Tipos de Termopares

Tipo de Termopar	Campo de aplicación	Precisión	Ventajas	Inconvenientes
Tipo T	-200°C a +250°C	2%	Pequeño tamaño, respuesta rápida, precio razonable	Son afectado por la corrosión
Tipo J	0°C a +750°C	0.5%		
Tipo K	0°C a +1300°C	1%		
Tipo R o S	0°C a +1600°C	0.5%		
Tipo W	0°C a +2800°C	1%		

Nota. Recuperado de (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Circuitos integrados

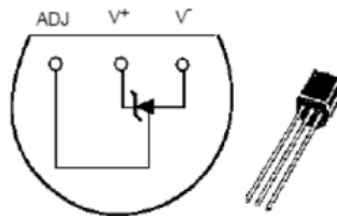
Estos son sensores de temperatura basados en semiconductores en forma de transistores, condensadores y resistencias. Sus características incluyen:

son lineales Proporcionan un voltaje o corriente lineal a la salida. No tienen aplicación industrial. No tienen protección. • No son sensores activos porque tienen función acondicionadora y requieren polarización. Circuito integrado LM335, sensor de temperatura de estado sólido con una sensibilidad de $10 \text{ mV}/^\circ\text{K}$. (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Se usa en aplicaciones donde se deben medir temperaturas de -10 a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ y está diseñado como un diodo Zener de dos pines, vea la **Figura 16**. (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Figura 16

Circuito Integrado LM335



Nota. Tomado de (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Sensores resistivos

El sensor resistivo más común es el RTD (detector de temperatura resistivo). Los RTD más comunes están hechos de platino y normalmente tienen una resistencia de 20Ω a $20 \text{ k}\Omega$. Su principal ventaja es que son lineales en el rango de temperatura de -200°C a 850°C . En sensores resistivos también tenemos termistores, este tipo de sensor tiene propiedades más sensibles y puede tener un coeficiente de temperatura positivo o negativo. La relación entre resistencia y temperatura no es lineal sino exponencial. (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Termistores

Un termistor es un componente electrónico cuya resistencia varía mucho con la temperatura. Es un resistor no lineal porque la corriente que lo atraviesa no es una función lineal del voltaje. (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Tipos de termistores

Se dividen en termistores NTC y PTC.

Termistor NTC

Los termistores de coeficiente de temperatura negativo (NTC) son un tipo de termistores cuya resistencia disminuye al aumentar la temperatura, funcionan con calefacción externa y se utilizan como sensores de temperatura. (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Termistor PTC

Un termistor de coeficiente de temperatura positivo (PTC) es un termistor cuya resistencia aumenta con la temperatura y funciona por autocalentamiento, su función es proteger los componentes electrónicos de algún circuito debido a una sobrecarga de voltaje o de corriente. (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Ventajas y desventajas de los termistores

Entre las ventajas de los termistores se tiene:

- La alta resistencia de los materiales utilizados permite el uso de termistores de tamaño pequeño esto según su aplicación.
- Alta sensibilidad con alta resistencia a pequeños cambios de temperatura.
- Reducir los costos de aplicaciones debido al bajo costo de estos.

Las desventajas de los termistores son las siguientes:

- Rango de funcionamiento del termistor de $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $450\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Los cambios de resistencia con la temperatura no son lineales.

Aplicaciones

Los termistores se utilizan en una variedad de aplicaciones:

- Establecer el límite de corriente.
- Sensor de temperatura.
- Proteger dispositivos debido al sobrecalentamiento.
- Indicadores de nivel
- Establecer en circuitos integrados una resistencia de compensación

Sensores de llama

El objetivo principal del sensor de llama es hacer de la combustión un proceso seguro, apto para cualquier tipo de combustible y cualquier tipo de quemador. (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

En combustibles de tipo gaseoso se utiliza principalmente los sensores de llama de tipo:

- Sensores ultravioletas (UV);
- Sensores Infrarrojos (IR).
- Varillas de Ionización.

En combustibles líquidos se utiliza principalmente los sensores de llama de tipo:

- Sensor fotocélula o fotoresistencia.
- Sensores infrarrojos (IR).

La llama tiene propiedades conductoras y rectificadoras de corriente, que son ventajas que aprovecha el dispositivo que realiza la función como el uso de varillas ionizantes.

Otras propiedades de las llamas incluyen la emisión de luz ultravioleta e infrarrojos, estas características permiten ser utilizadas para detectar sensores como lámparas UV e IR, ver **Figura 17** (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Figura 17

Aspecto externo de un sensor de llama ultravioleta.



Nota. Tomado de (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Actuadores

Un actuador es un dispositivo capaz de generar fuerza a partir de una señal eléctrica o neumática o a través de un fluido.

Los actuadores permiten el control directo o indirecto de una variable de proceso porque estos dispositivos responden a una señal enviada por un controlador que activa un contactor y permite que la corriente fluya hacia el actuador. (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Los actuadores se pueden clasificar según el tipo de energía que requieren para funcionar:

Actuadores eléctricos

Existen muchos tipos de actuadores eléctricos, como motores eléctricos, servomotores, válvulas solenoides, relés, etc. Pero uno de los más importantes es el motor eléctrico, porque el movimiento giratorio creado por el motor eléctrico controla el funcionamiento de un gran número de máquinas en la industria. (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Actuadores neumáticos

Los actuadores neumáticos funcionan recibiendo señales de presión de aire. Actualmente, el campo de los actuadores neumáticos se ha desarrollado mucho, ya que algunas herramientas eléctricas han sido reemplazadas por herramientas neumáticas, ya que brindan más torque por ejemplo para procesos de ajuste automatizado donde se necesita elevar la presión por medio del actuador. Entre los actuadores neumáticos más importantes se pueden mencionar: pistón neumático, válvulas etc (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Actuadores hidráulicos

Con respecto a los actuadores hidráulicos, se puede decir que requieren aceite como fluido de trabajo y funcionan de la misma manera que los actuadores neumáticos, excepto que pueden producir más fuerza. Por eso se utilizan en tractores, volquetes y en la industria los encontramos mayoritariamente en empacadoras. (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Relés

Un relé es un dispositivo electromecánico basado en un contacto accionado por un circuito donde uno o más contactos son accionados por una bobina y un electroimán, permitiendo

que otros contactos abran o cierren un circuito independiente. (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Un electroimán consta de un núcleo de hierro y una bobina de cobre. Cuando los contactos del relé están cerrados, la corriente fluye a través de la bobina, creando un campo magnético que magnetiza el núcleo de hierro y se convierte en un imán muy fuerte. Cuando los contactos del relé están abiertos la corriente deja de fluir a través de la bobina del relé, el campo magnético desaparece y el núcleo ya no es un imán. (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

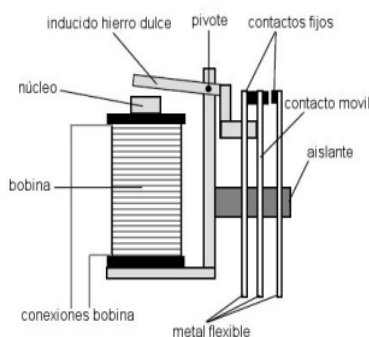
Muchas veces los relés se consideran amplificadores porque pueden controlar un circuito de salida que es más potente que el circuito de entrada. Cuando se controla una gran potencia, el relé se llama contactor. (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Relé tipo armadura

Su funcionamiento se basa en la inclinación de la armadura provocada por un electroimán. La excitación de la armadura por el campo magnético del núcleo hace que los contactos se abran o cierren dependiendo de si está normalmente abierto o normalmente cerrado (NA o NC) (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Figura 18

Relé de Armadura



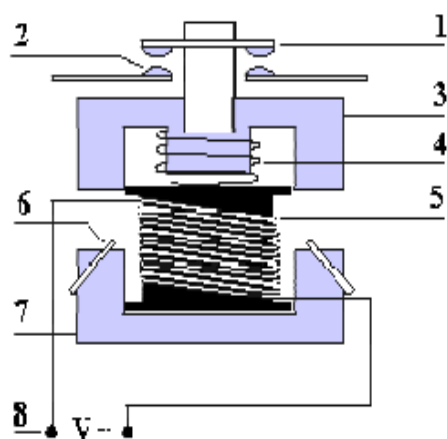
Nota. Tomado de (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Relés de núcleo móvil

Este relé se diferencia del anterior en que utiliza un solenoide para cerrar sus contactos debido a la mayor fuerza de atracción. Es ampliamente utilizado cuando es necesario controlar grandes corrientes. (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Figura 19

Relé de núcleo móvil



- 1- Contactos móviles. 2- Contactos fijos.
- 3- Hierro móvil. 4 - Rueda antagonista. 5 - Bobina.
- 6- Espira de sombra (en corriente alterna).
- 7- Hierro fijo. 8 - Alimentación bobina.

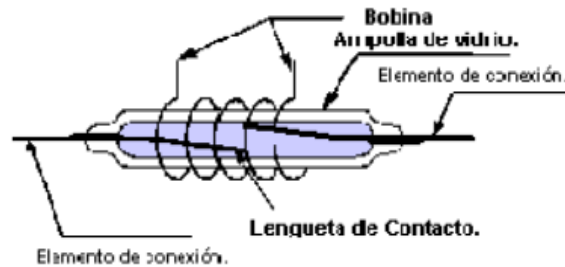
Nota. Tomado de (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Relés tipo reed o de lengüeta

Estos consisten en un bulbo de vidrio con contactos en su interior, que a su vez van montados sobre una placa de metal muy delgada. Los contactos se cambian activando una bobina colocada alrededor del bulbo de vidrio. Este relé se diferencia del anterior en que se utiliza un solenoide para cerrar los dientes debido a una mayor succión. (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Figura 20

Relé tipo Reed



Nota. Tomado de (Estrella Cevallos & Muso Amores , 2011)

Controladores programables

La automatización mediante micro controladores (PLC's) ha sido bien recibida en la industria, principalmente debido a su versatilidad y simplicidad en términos de conectividad y facilidad de uso, ver **Figura 21**. (Ingenieria, 2019)

Figura 21

Aspecto externo de un PLC's LOGO.



Nota. Tomado de (Ingenieria, 2019)

Las funciones que se pueden implementar con un PLC incluyen operaciones como detección y control, donde los datos de movimiento se preparan y envían a Pre-actuadores y actuadores. (Ingenieria, 2019)

Descripción de un PLC'S

Un Programador Lógico Controlable (PLC) es un dispositivo electrónico diseñado para controlar una máquina o un proceso lógico y/o secuencial en tiempo real en un entorno industrial. El trabajo del PLC se basa en la información recibida por los sensores y el programa lógico interno que actúa sobre los actuadores instalados. (Ingeniería, 2019).

Sus principales ventajas son:

- Menos cables, lo que reduce los costos y el tiempo de inactividad del equipo.
- Reduce el espacio en los armarios de control.
- Mantenimiento y solución de problemas más sencillos, debido al fácil acceso
- Flexibilidad de configuración y programación para que la automatización se pueda adaptar fácilmente a los cambios del proceso.

Campos de aplicación de los PLC'S

Hoy en día, la tecnología permite que los PLC se adapten a las necesidades de cada usuario y a cada aplicación. (Ingeniería, 2019)

Para la automatización se emplea como:

- Dispensadores.
- Alimentadores de máquinas.
- Montacargas.
- Lavadoras industriales y de autos.
- Calefacción, vidrieras, etc.,

Suelen utilizarse para automatizaciones de complejidad moderada PLC's compactos que requieren señales y comunicaciones analógicas, procesos tales como: (Ingenieria, 2019)

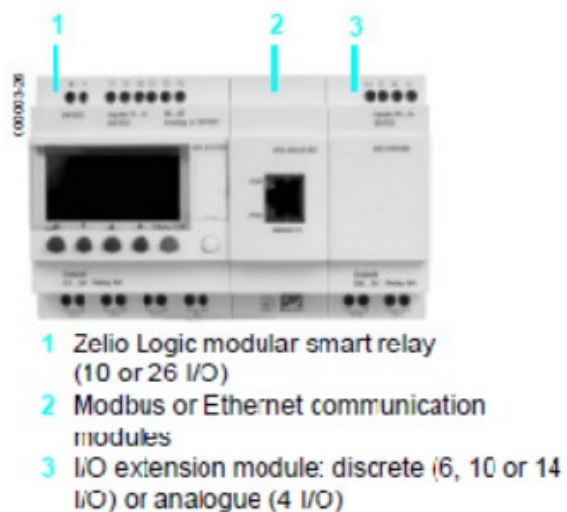
- Equipos de inyección de plástico, caucho, etc.
- Cintas transportadoras, etc.

Para una automatización más compleja, se utilizan PLC's de tipo modular

- Estaciones de transformación, estaciones de bombeo, plantas de tratamiento de agua, etc.
- Sistemas de control de iluminación en aeropuertos.
- Líneas de producción en la industria.
- Proceso de molienda en la industria del cemento, etc.

Figura 22

PLC compacto adjunto a módulos de I/O analógicas



Nota. Tomado de (Ingenieria, 2019)

Para la automatización donde la complejidad del proceso requiere una alta velocidad de procesamiento del programa base, control en lazo cerrado mediante retroalimentación del sensor en periodos cortos de tiempo, alto rendimiento con múltiples protocolos de comunicación, una gran cantidad de controles remotos y E/S descentralizadas, a menudo se utilizan grandes PLC modulares y sistemas de monitoreo y control llamados SCADA. (Ingeniería, 2019)

Plantas siderúrgicas, oleoductos, refinerías de petróleo, equipos completos de minería, equipos de extracción de petróleo, etc. automatización.

Figura 23

Aspecto externo de un PLC's Modular.



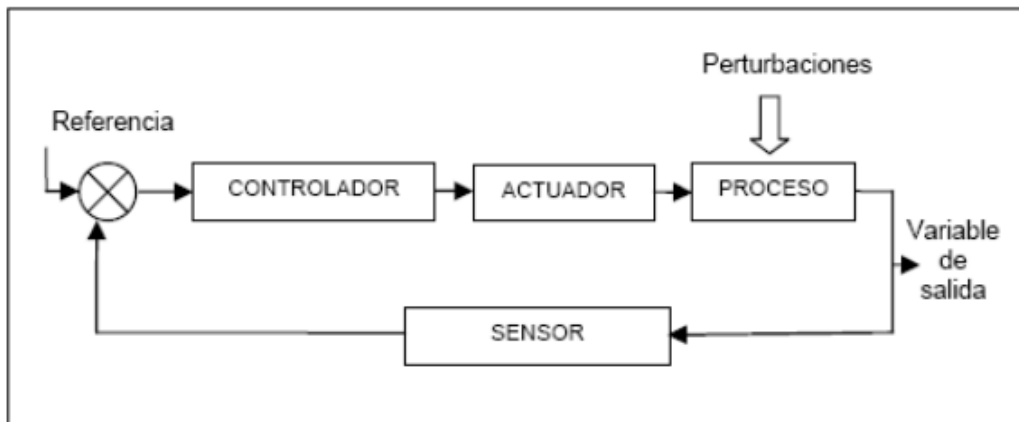
Nota. Tomado de (Ingeniería, 2019)

Sistemas de control

Un sistema de control es un conjunto de elementos que interactúan para intervenir en diversas variables que forman parte de un proceso que es independiente de la mano humana. Un sistema de control generalmente consta de sensores, controladores, actuadores y software. El siguiente diagrama mostrado en la **Figura 24** indica claramente la interacción entre los elementos del sistema de control. (Ingeniería, 2019)

Figura 24

Interacción de los elementos de un sistema de control



Nota. Tomado de (Ingeniería, 2019)

Capítulo III

Diseño de componentes mecánicos y estructura

Diseño de la estructura del horno

Dimensionamiento del horno

Los requerimientos de la empresa para el diseño y construcción del horno de curado especifican las siguientes dimensiones:

Tabla 8

Dimensiones preliminares para la cabina del horno de curado.

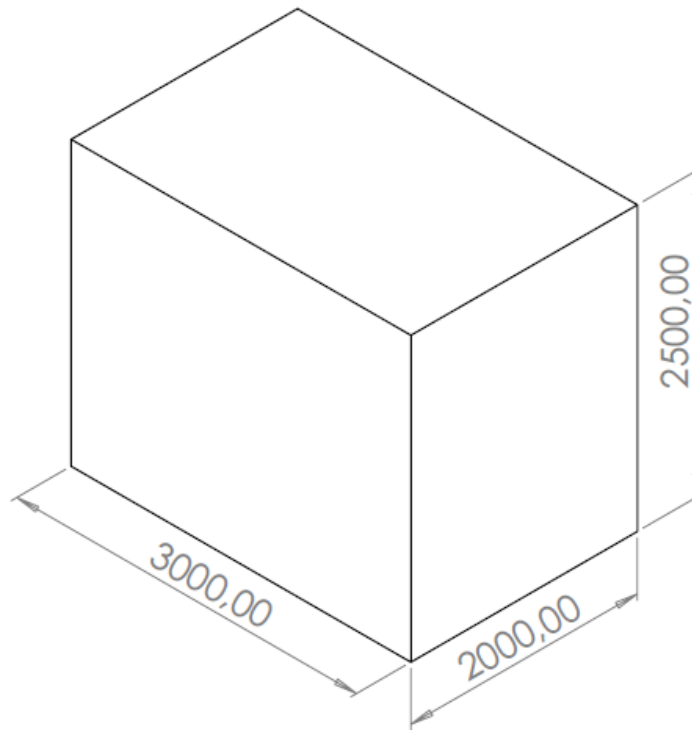
Dimensiones preliminares del horno	
Alto	2.50 m
Ancho	2.00 m
Largo	3.00 m

Se debe tener en cuenta que el objetivo primordial de la empresa, es realizar el curado de diferentes piezas de cerrajería metálica como: puertas, cerramientos, muebles metálicos, protecciones de ventanas, etc. Esto aplica para diferentes formas y dimensiones de las piezas a curar.

En la **Figura 25** se puede observar un modelo esquemático con las dimensiones internas del horno, lo que viene a representar el espacio útil para el curado de piezas, tomando en cuenta que puede existir un aumento en las dimensiones finales debido al montaje de equipo y techo para el horno.

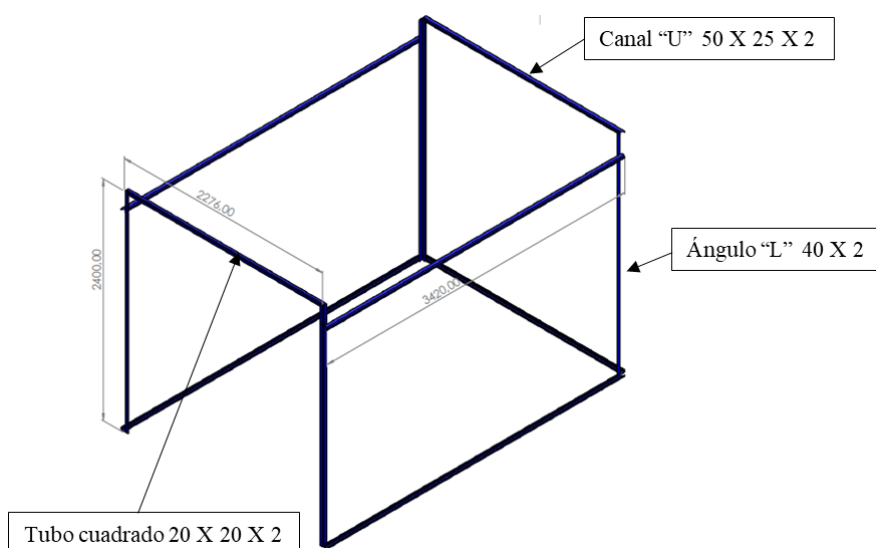
Figura 25

Dimensionamiento preliminar del horno de curado

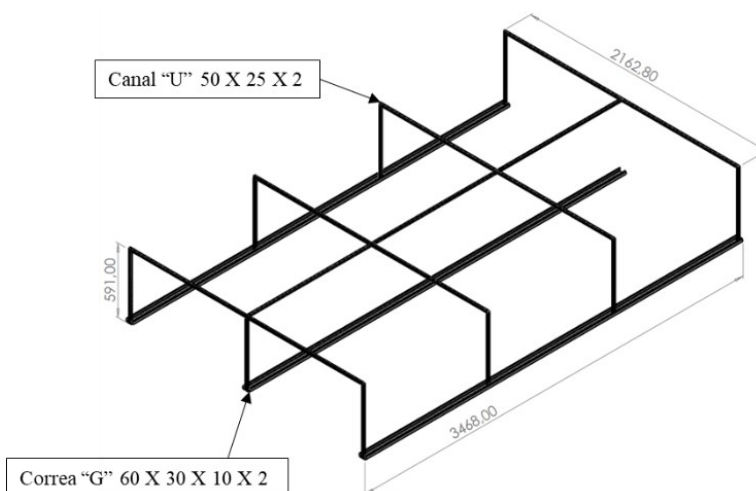
**Elaboración del modelado CAD de la estructura**

La elaboración del modelo de la estructura comienza con las dimensiones preliminares del horno, pero se debe tener en cuenta que se generan dos estructuras, la primera especificada para las paredes del horno de curado y la segunda para el techo.

La estructura para las paredes se diseña con perfiles estructurales canal "U", perfiles estructurales ángulos "L" doblados y tubo estructural cuadrado. En la siguiente figura se indica las dimensiones finales de la estructura, así como los perfiles utilizados.

Figura 26*Estructura para las paredes del horno*

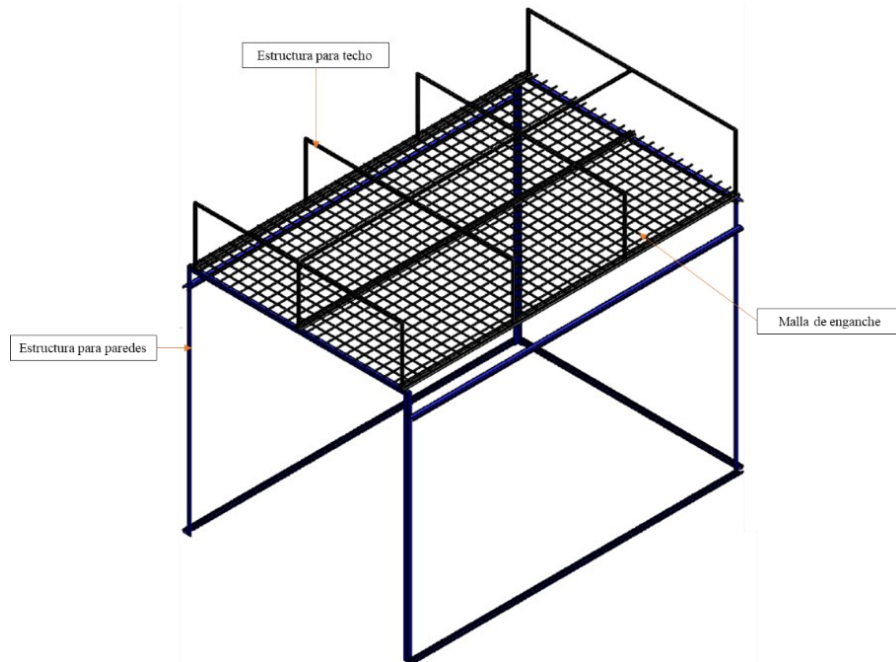
En el caso de la estructura para el techo se realiza de tubo estructural cuadrado y perfiles estructurales correas "G" como se puede observar en la **Figura 26**. Se debe tener en cuenta que se incluye la malla electrosoldada de varilla corrugada, la cual permite enganchar las piezas que ingresan en el horno.

Figura 27*Estructura para el techo del horno*

Finalmente, la estructura queda definida como se muestra en la Figura 28. Para el análisis, se realiza mediante la estructura total, la cual permitirá conocer cómo se comportarán los elementos estructurales sometidos a diferentes valores de carga.

Figura 28

Estructura total para horno



Cálculos de esfuerzo en la estructura

El objetivo de la simulación de los esfuerzos en la estructura es conocer cómo se comporta ante diferentes cargas aplicadas en la malla de enganche, tomando en cuenta que se trata de un horno para curar diferentes piezas con diferentes valores de masa.

Es por tal motivo que se realiza un análisis para diferentes valores considerando los requerimientos de la empresa, se considera el valor mínimo de carga $50kg$ hasta la carga máxima de $500kg$. El análisis se los realiza para los siguientes valores:

Tabla 9

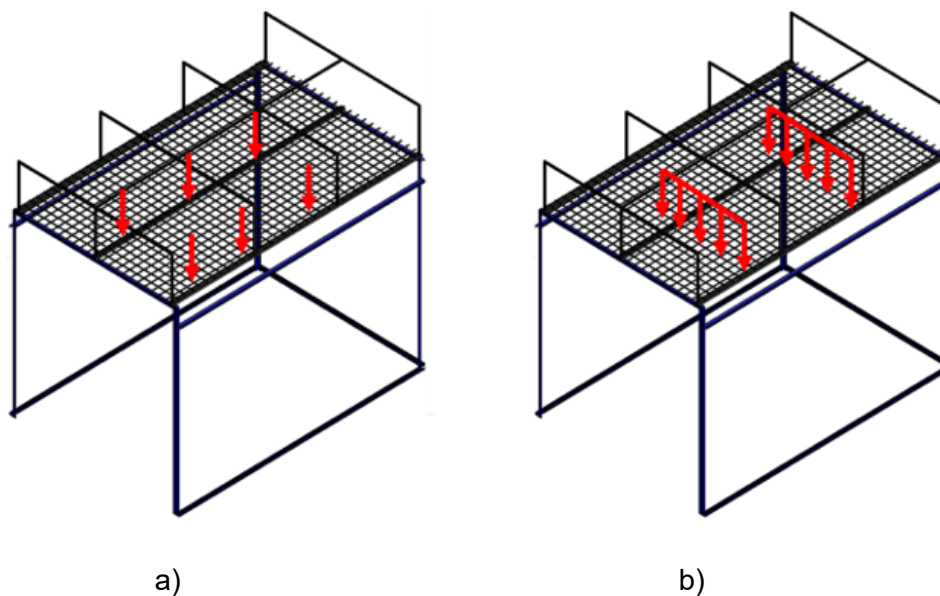
Valores de carga para análisis de estructura

Análisis estructural	
Carga mínima	50kg
Carga media	100kg
Carga media	250kg
Carga máxima	500kg

Los dos primeros valores se consideran como cargas puntuales en diferentes juntas de la malla de enganche mientras que los dos últimos valores se realizan como cargas distribuidas a través de las vigas de la malla.

Figura 29

Análisis estructural para a) cargas puntuales mínimas b) cargas distribuidas máximas

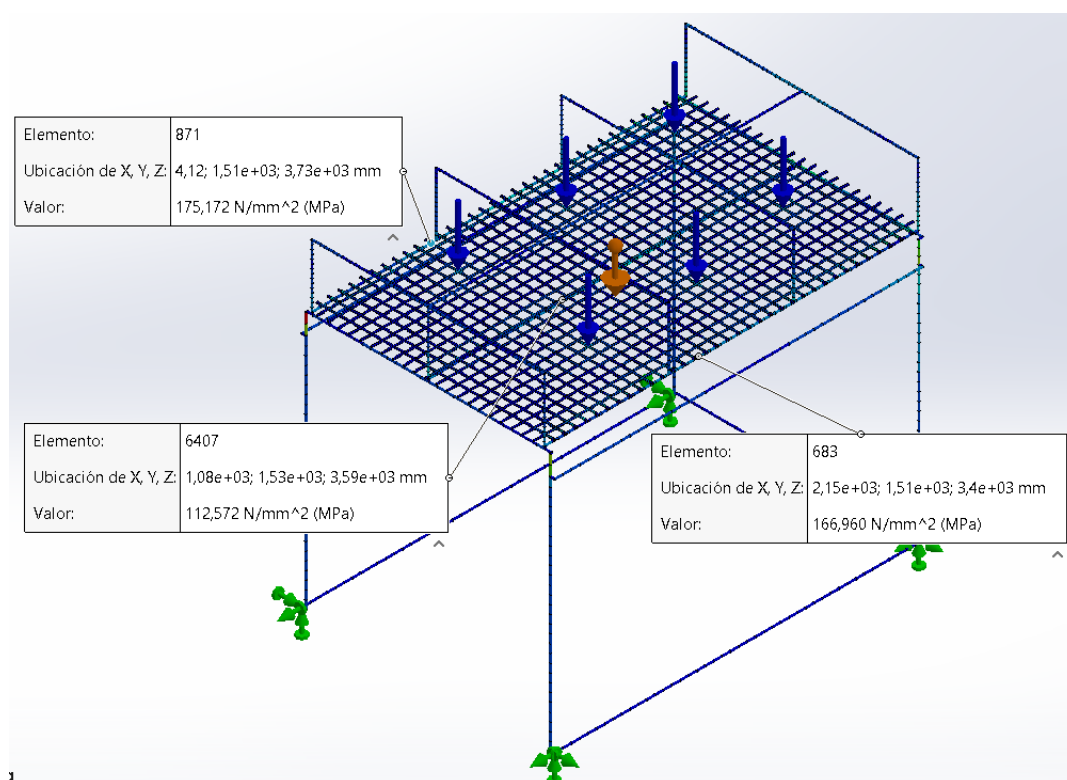


Análisis para carga de 50kg

El análisis de esfuerzos se toman los puntos donde se obtiene un valor mayor, efectivamente se realiza sobre los perfiles estructurales correas "G" que sostienen la malla de enganche, pero se considera mucho menores al valor de esfuerzo a la fluencia del acero A36 con 250MPa.

Figura 30

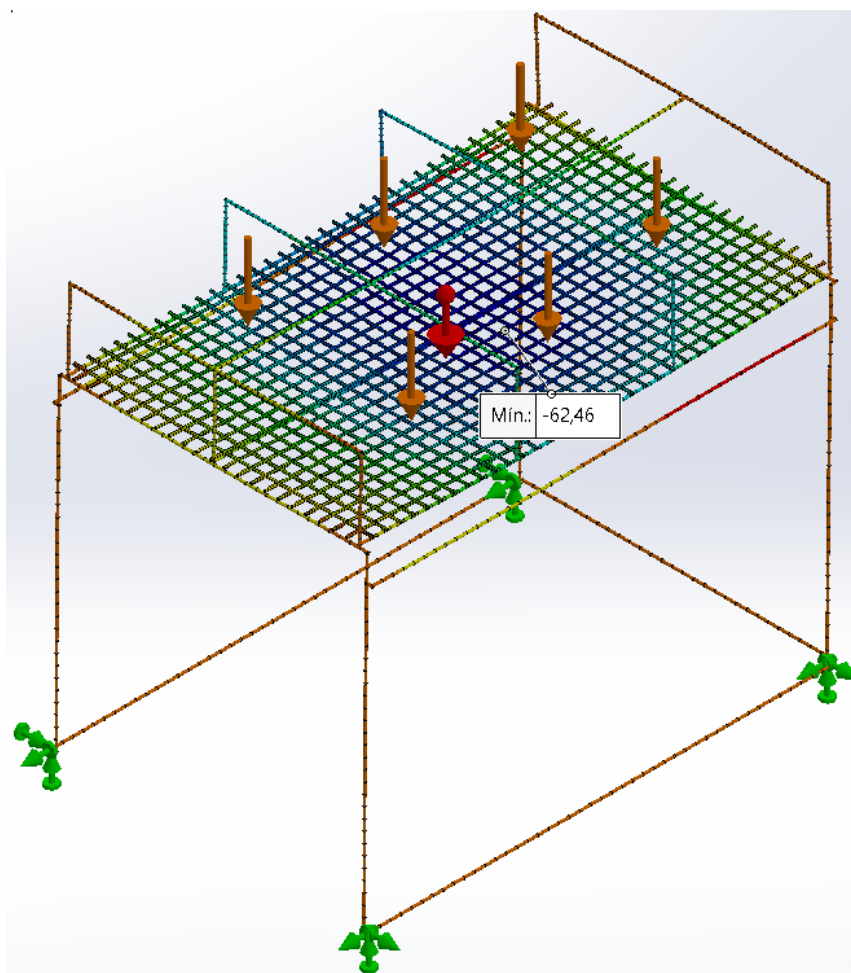
Análisis de esfuerzo para carga de 50kg



Se realiza también el análisis del desplazamiento, es necesario conocer como la carga logra desplazar a los miembros estructurales siendo de interés el eje Y. En la siguiente figura, se observa que el valor máximo de desplazamiento es $62,46 \times 10^{-2} mm$. Siendo un valor casi imperceptible al ojo humano y no genera conflictos.

Figura 31

Análisis de desplazamiento en Y para carga de 50kg



Una vez obtenido estos valores, es necesario conocer cuál es el factor de seguridad (FS) en la posición que se considera los mayores puntos de tensión. Como se puede observar en siguiente Figura, el FS para este caso, alcanza el valor de 6.44. La condición de trabajo, estima que los FS deben ser mayores o iguales a 2.

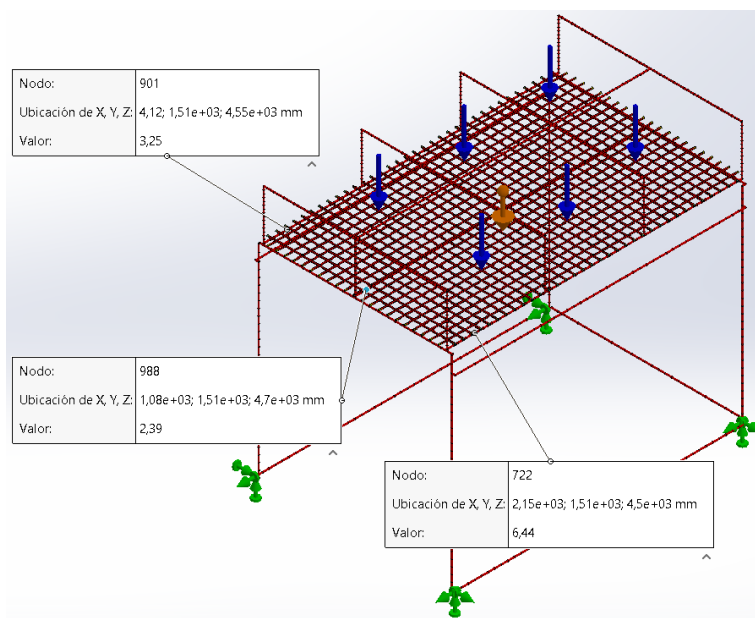
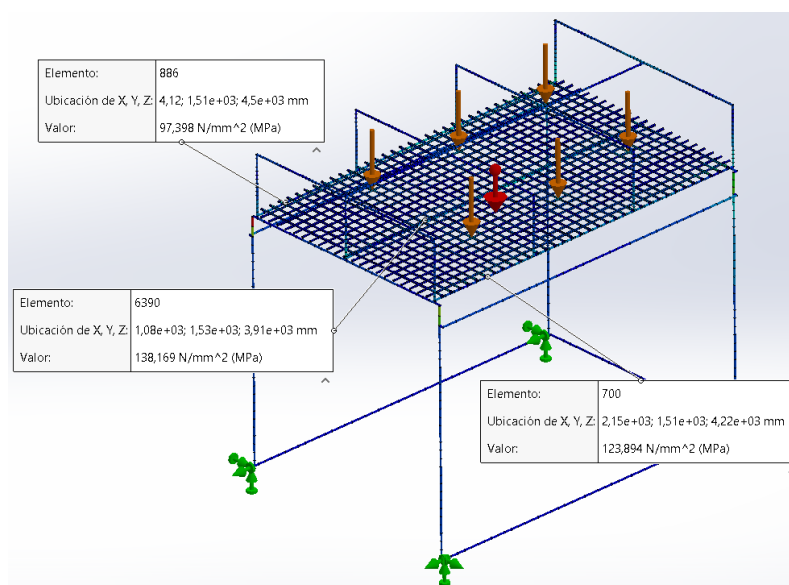
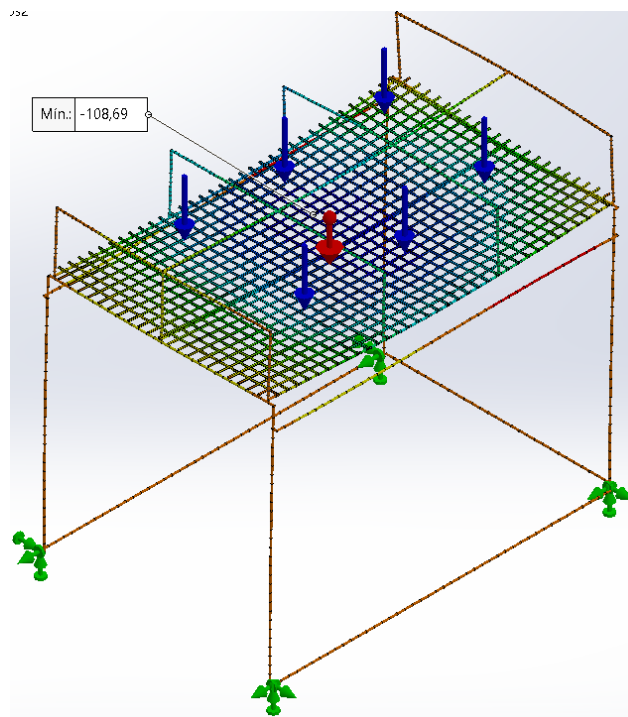
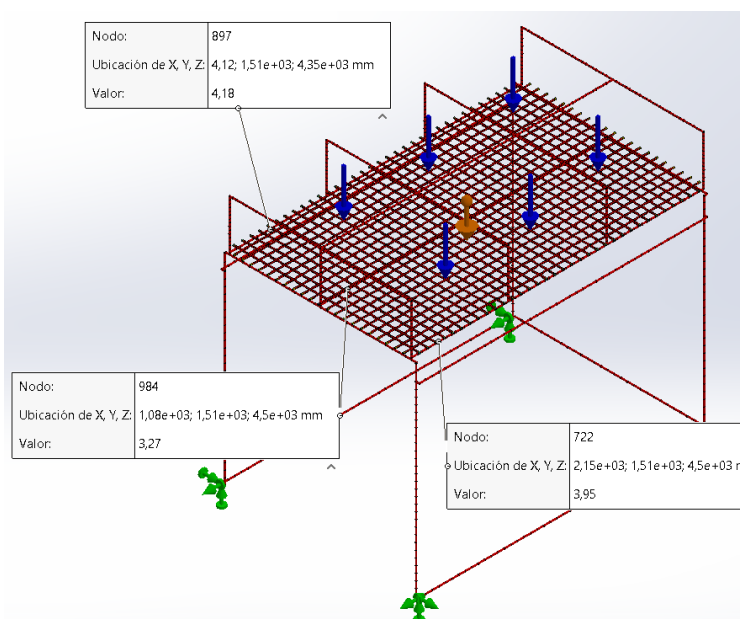
Figura 32*Análisis de FS para carga de 50kg**Análisis para carga de 100kg***Figura 33***Análisis de esfuerzo para carga de 100kg*

Figura 34

Análisis de desplazamiento en Y para carga de 100kg

**Figura 35**

Análisis de FS para carga de 100kg



Análisis para carga de 250kg

Figura 36

Análisis de esfuerzo para carga de 250kg

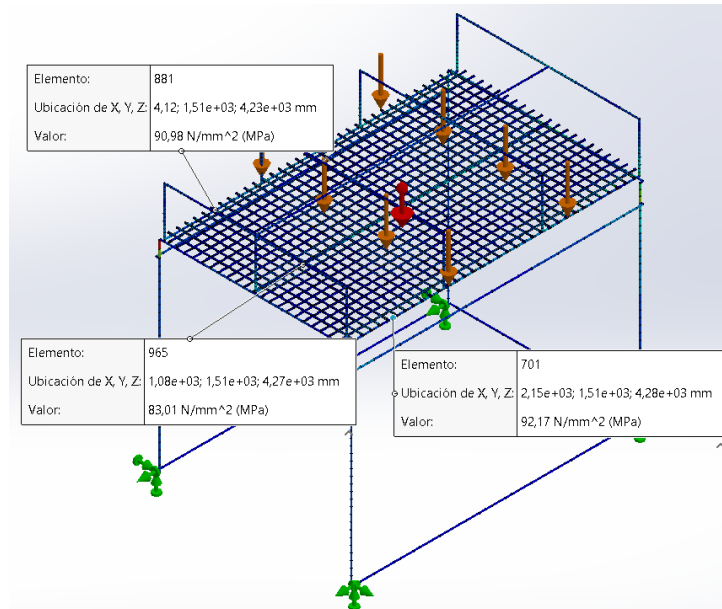


Figura 37

Análisis de desplazamiento en Y para carga de 250kg

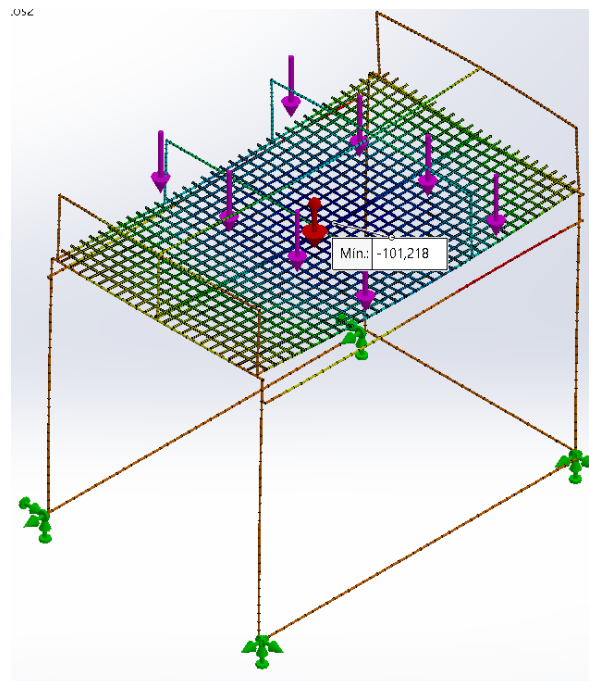
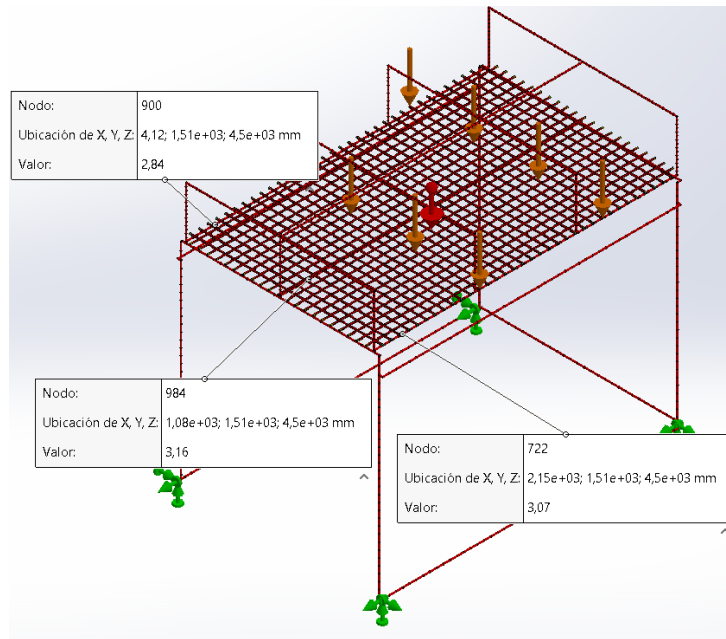


Figura 38

Análisis de FS para carga de 250kg



Análisis para carga de 500kg

Figura 39

Análisis de esfuerzo para carga de 500kg

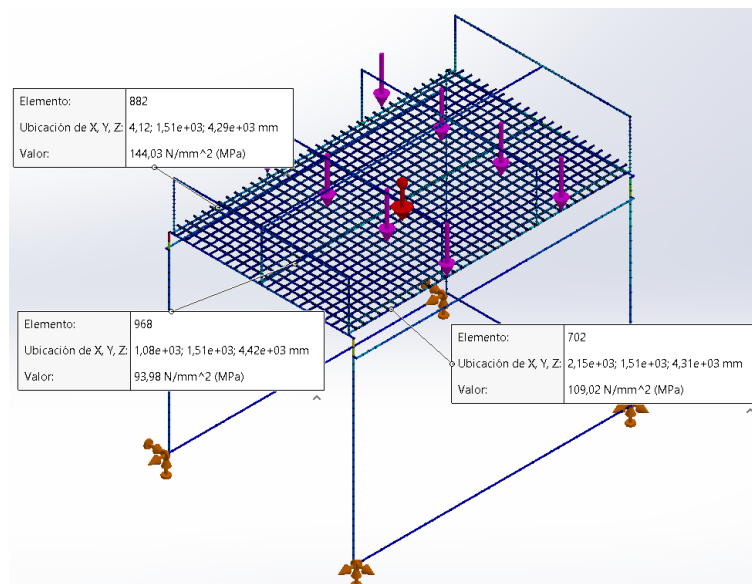
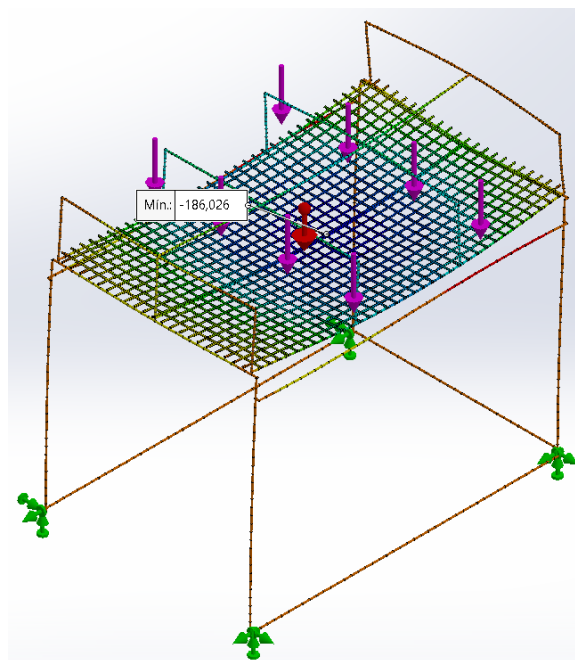
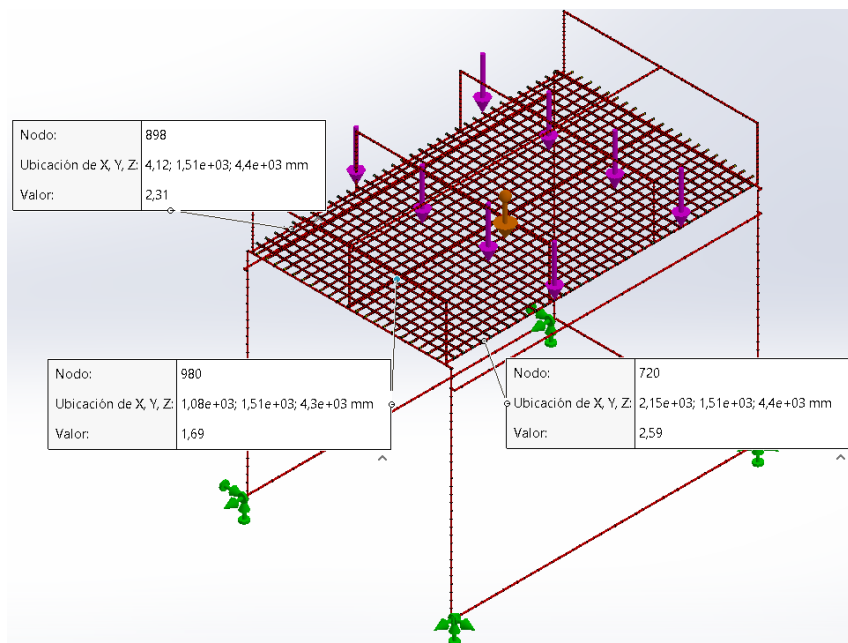


Figura 40

Análisis de desplazamiento en Y para carga de 500kg

**Figura 41**

Análisis de FS para carga de 500kg



Se realiza un resumen de los valores obtenidos para cada uno de los análisis propuestos, como se puede observar en la siguiente **Tabla 10**. Esto con el objetivo de visualizar de mejor manera, los valores numéricos y como varían en función de la carga que se aplica a la estructura.

Tabla 10

Valores obtenidos respecto a las diferentes cargas aplicadas

Carga	Esfuerzo máx.[MPa]	Desplazamiento máx. eje Y [mm]	FS
50kg	38.82	0.6246	6.44
100kg	76.45	1.08	3.27
250kg	87.11	1.01	2.87
500kg	96.53	1.86	2.59

Análisis térmico del horno

Calor requerido por el horno de curado

Para el diseño térmico es fundamental conocer cuál es el calor requerido por el horno de curado. Se tiene en consideración que se necesita de una temperatura de 180°C dentro del horno para comenzar con el curado de las piezas aplicadas con pintura electroestática según la ficha técnica del fabricante.

Además, se considera que la temperatura mínima habitual en la zona de Azogues es 10°C y la máxima que alcanza es 22°C.

Se utiliza la siguiente formula:

$$Q = m \times Cp \times \Delta T$$

Donde:

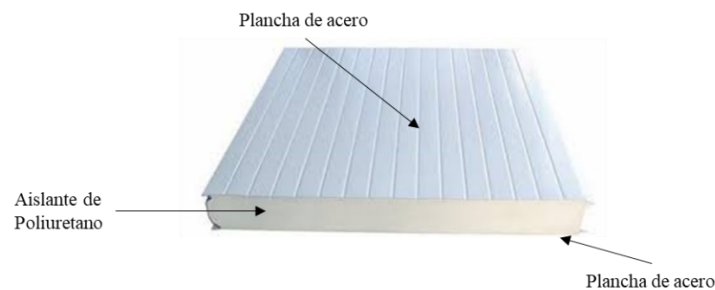
- m : masa
- C_p : Calor específico del material
- ΔT : Variación de temperatura

Antes de continuar es necesario resaltar que se utilizan paneles de poliuretano tipo Sándwich, los cuales son prensados para tener la facilidad de ensamblar el horno, como se observa en la siguiente figura, se necesita de 2 planchas de acero prensadas entre una capa de aislante de poliuretano.

El espesor de cada plancha de acero es de 0.6mm .

Figura 42

Panel de Poliuretano



Nota. Tomado de (Verton., 2022)

Del mismo modo, se establece el calor necesario para que las paredes lleguen a la temperatura de trabajo, pero considerando únicamente la plancha de acero galvanizado de la pared interna. Para lo cual, se realiza el cálculo de la masa total para las paredes laterales y pared posterior.

$$V = e \times A$$

$$m = V \times \rho$$

Para las paredes laterales se utilizan un total de 6 paneles:

$$V_{pared\ lateral} = 0.6 \times 10^{-3}m(2.2m)(1.14m) = 0.0015m^3$$

$$m_{paredes\ lateral} = 6 \times 0.0015m^3 \times 7850 \frac{kg}{m^3} = 70.88kg$$

Para la pared posterior se utiliza un total de 2 paneles:

$$V_{pared\ posterior} = 0.6 \times 10^{-3}m(2.4m)(1.14m) = 0.0016m^3$$

$$m_{pared\ posterior} = 2 \times 0.0015m^3 \times 7850 \frac{kg}{m^3} = 25.77kg$$

Con los datos de masa obtenidos se realiza el cálculo de calor requerido por las paredes.

$$Q_{paredes} = (70.88 + 25.77)(0.487)(453 - 283)$$

$$Q_{paredes} = 8001.65[KJ]$$

Se realiza para el piso del horno, el cual es concreto de 10cm de espesor en toda el área del horno. Se utiliza las mismas ecuaciones de volumen y masa para concreto.

$$V_{piso} = (1.14m \times 3)(1.14m \times 2)(10cm) = 0.779m^3$$

$$m_{piso} = 0.779m^3 \times 2300 \frac{kg}{m^3} = 1793.45kg$$

Con el dato de masa, se procede a calcular el calor requerido por el piso:

$$Q_{piso} = (1793.45)(0.88)(453 - 283)$$

$$Q_{piso} = 26829.9[KJ]$$

Calor requerido para carga de piezas

Con la información mencionada y la mayor y menor masa de las piezas de curado, se puede establecer el calor máximo y mínimo que se necesita para calentar la carga de piezas que ingresan para el curado en el horno.

Reemplazando los valores se obtiene:

$$Q_{\max_{carga}} = 2(500)(0.487)(453 - 283)$$

$$Q_{\max_{carga}} = 8279[KJ]$$

$$Q_{\min_{carga}} = 6(50)(0.487)(295 - 283)$$

$$Q_{\min_{carga}} = 2483.7[KJ]$$

Cálculos de pérdidas de calor en el horno

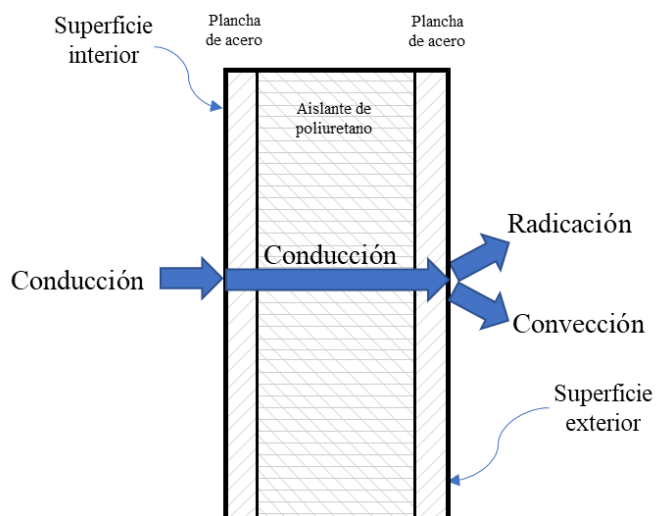
Calor perdido en las paredes

Se debe considerar que el calor perdido en las fronteras se debe a que no existe un aislamiento perfecto, por tal motivo es necesario establecer el calor perdido a través de las paredes de horno. Para lo cual se ilustra mediante la siguiente Figura.

Además, se establece las formas de transferencia de calor que se aplica para realizar el análisis de las mismas.

Figura 43

Diagrama esquemático de las paredes del horno

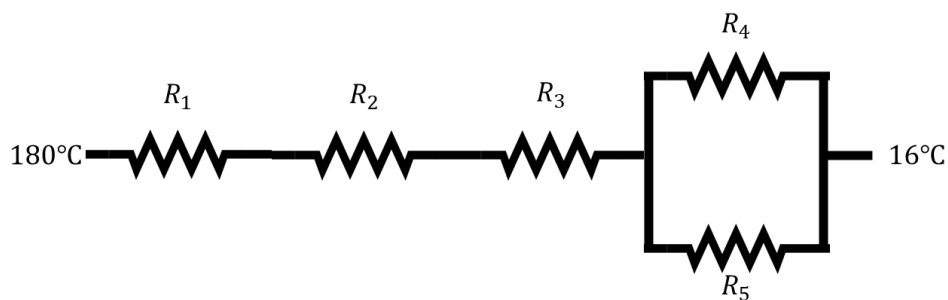


Nota. Tomado de (Çengel & Ghajar, 2020, pág. 87)

Se puede continuar con el análisis mediante la analogía eléctrica de resistencias. Del cual se desarrolla el gráfico correspondiente:

Figura 44

Analogía eléctrica para cálculo de pérdidas de calor



Se establece que R_1 , R_2 y R_3 tienen su efecto mediante conducción para lo cual es necesario calcular mediante la fórmula:

$$R = \frac{L}{KA}$$

Donde:

- L : espesor del material [m]
- K : Conductividad térmica del material $\left[\frac{W}{^{\circ}K \cdot m}\right]$
- A : Área [m^2]

Previo al cálculo de las pérdidas es necesario conocer cuál es el área total, donde se debe sumar las paredes laterales y pared posterior.

$$A_{pared\ lateral} = 6(2.2m)(1.14m) = 15.048m^2$$

$$A_{pared\ posterior} = 2(2.4m)(1.14m) = 5.472m^2$$

$$A_{Total} = 20.52m^2$$

En el caso de R_1 hace referencia a la plancha interna de acero del panel, para lo cual se realiza el siguiente calculo:

$$R_1 = \frac{0.6 \times 10^{-3}m}{\left(47 \frac{W}{^{\circ}K \cdot m}\right) (20.52m^2)} = 6.22 \times 10^{-7} \frac{^{\circ}K}{W}$$

Se procede con el mismo caso para R_2

$$R_2 = \frac{50 \times 10^{-3}m}{\left(0.023 \frac{W}{^{\circ}K \cdot m}\right) (20.52m^2)} = 0.106 \frac{^{\circ}K}{W}$$

Finalmente, para R_3

$$R_3 = \frac{0.6 \times 10^{-3}m}{\left(47 \frac{W}{^{\circ}K \cdot m}\right) (20.52m^2)} = 6.22 \times 10^{-7} \frac{^{\circ}K}{W}$$

Para el cálculo de R_4 y R_5 se considera la convección y conducción respectivamente, las fórmulas aplicadas se detallan a continuación

$$R_{convección} = \frac{1}{hA}$$

Donde:

- **h**: coeficiente de convección $\left[\frac{W}{^{\circ}K \cdot m^2}\right]$
- **A**: área $[m^2]$

$$R_4 = \frac{1}{\left(9.57 \frac{W}{^{\circ}K \cdot m^2}\right) (20.52m^2)} = 0.0051 \frac{^{\circ}K}{W}$$

Para el caso de la radiación:

$$R_{radiación} = \frac{1}{h_r A}$$

Donde:

- **h_r**: coeficiente de radiación $\left[\frac{W}{^{\circ}K \cdot m^2}\right]$
- **A**: área $[m^2]$

$$R_5 = \frac{1}{\left(0.001 \frac{W}{^{\circ}K \cdot m^2}\right) (20.52m^2)} = 48.73 \frac{^{\circ}K}{W}$$

Una vez obtenido estos valores se puede obtener la resistencia equivalente, tomando en cuenta que R_4 y R_5 se encuentran en configuración paralela.

$$R_{TOTALparedes} = R_1 + R_2 + R_3 + \frac{1}{\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}}$$

$$R_{TOTALparedes} = 6.22 \times 10^{-7} + 0.106 + 6.22 \times 10^{-7} + \frac{1}{\frac{1}{0.0051} + \frac{1}{48.73}} = 0.11$$

Con la resistencia total se calcula el coeficiente global de transferencia, que permite determinar el calor perdido por las paredes laterales:

$$U = \frac{1}{R_{TOTAL} \times A}$$

$$U_{paredes} = \frac{1}{0.11(20.52)} = 0.44 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]$$

$$Q = \frac{U \times A \times \Delta T}{1000}$$

$$Q_{perdido_{paredes}} = \frac{0.44(20.52)(453 - 283)}{1000} = 1.53 [KW]$$

Calor perdido por el piso

Aplicando la fórmula de conducción, se procede a calcular los parámetros necesarios, tanto para el piso de concreto como su continuación con una base de tierra de 1m de profundidad

$$A_{piso} = (1.14m \times 3)(1.14m \times 2) = 7.79m^2$$

$$R_{1piso} = \frac{0.1m}{\left(0.22 \frac{W}{^\circ K \cdot m}\right) (7.79m^2)} = 0.0583 \frac{^\circ K}{W}$$

$$R_{2piso} = \frac{1m}{\left(0.85 \frac{W}{^\circ K \cdot m}\right) (7.79m^2)} = 0.151 \frac{^\circ K}{W}$$

$$R_{TOTALpiso} = 0.0583 + 0.151 = 0.209 \frac{^\circ K}{W}$$

$$U_{piso} = \frac{1}{0.209(7.79)} = 0.614 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]$$

$$Q_{perdido_{piso}} = \frac{0.614(7.79)(453 - 283)}{1000} = 0.813 [KW]$$

Calor perdido por el techo

El techo consta de una cubierta de plancha de acero de 2mm, con esta información adicional se procede a realizar el mismo procedimiento.

$$A_{techo} = A_{piso} = 7.79m^2$$

$$R_{1techo} = \frac{0.002m}{\left(47 \frac{W}{\circ K \cdot m}\right) (7.79m^2)} = 5.46 \times 10^{-6} \frac{\circ K}{W}$$

$$R_{2techo} = \frac{0.6m}{\left(0.026 \frac{W}{\circ K \cdot m}\right) (7.79m^2)} = 2.96 \frac{\circ K}{W}$$

$$R_{3techo} = \frac{0.002m}{\left(47 \frac{W}{\circ K \cdot m}\right) (7.79m^2)} = 5.46 \times 10^{-6} \frac{\circ K}{W}$$

$$R_{4techo} = \frac{1}{\left(9.57 \frac{W}{\circ K \cdot m^2}\right) (7.79m^2)} = 0.013 \frac{\circ K}{W}$$

$$R_{5techo} = \frac{1}{\left(0.001 \frac{W}{\circ K \cdot m^2}\right) (7.79m^2)} = 128.36 \frac{\circ K}{W}$$

$$R_{TOTALtecho} = R_{1techo} + R_{2techo} + R_{3techo} + \frac{1}{\frac{1}{R_{4techo}} + \frac{1}{R_{5techo}}}$$

$$R_{TOTALtecho} = 5.46 \times 10^{-6} + 2.96 + 5.46 \times 10^{-6} + \frac{1}{\frac{1}{0.013} + \frac{1}{128.36}} = 2.973 \frac{\circ K}{W}$$

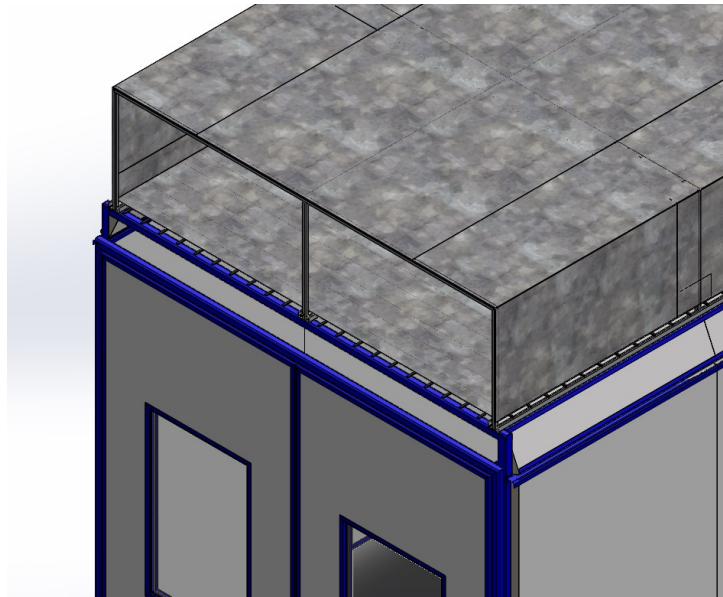
$$U_{techo} = \frac{1}{2.973(7.79)} = 0.043 \left[\frac{W}{m^2 \cdot \circ K} \right]$$

$$Q_{perdido_{techo}} = \frac{0.043(7.79)(453 - 283)}{1000} = 0.057 [KW]$$

Se entiende que la pérdida en el techo es menor debido a la cámara de aire que existe entre las dos planchas de acero, esto se diseña para generar una cámara de recirculación de aire.

Figura 45

Cámara de aire para techo



Potencia total requerida para el interior del horno.

Una vez establecidos la cantidad calor requerido por el horno tanto para las piezas como para las paredes y piso, además de las pérdidas de calor en todo el horno, es necesario conocer la potencia requerida por el horno.

Se establece que el tiempo de curación de las piezas es $10min$ según la ficha técnica de la pintura electrostática, este tiempo es el que se incluye tanto el alcance de la temperatura a los $180^{\circ}C$ y su posterior curación.

Se comienza calculando la potencia requerida por el horno y la máxima carga, debido a que interesa conocer cuál será la máxima potencia que se requiere:

$$Q_{\text{horno/carga}} = \frac{Q_{\text{paredes}} + Q_{\text{piso}} + Q_{\text{maxcarga}}}{t}$$

$$Q_{\text{horno/carga}} = \frac{8001.65 + 26829.9 + 8279}{10\text{min} \times \frac{60\text{s}}{1\text{min}}} = 71.85[\text{KW}]$$

Se realiza el cálculo de la potencia para las pérdidas provocadas por techo, paredes y piso

$$Q_{\text{perdido}_{TOTAL}} = Q_{\text{perdido}_{paredes}} + Q_{\text{perdido}_{piso}} + Q_{\text{perdido}_{techo}}$$

$$Q_{\text{perdido}_{TOTAL}} = 1.53 + 0.813 + 0.057 = 2.4[\text{KW}]$$

Estos valores sirven para calcular la potencia total requerida por el horno de curado, lo cual se realiza con la suma de los mismos.

$$Q_{TOTAL} = Q_{\text{horno/carga}} + Q_{\text{perdido}_{TOTAL}}$$

$$Q_{TOTAL} = 71.85 + 2.4 = 74.25[\text{KW}]$$

Eficiencia térmica del horno.

La eficiencia viene dada por la formula:

$$\eta = \frac{Q_p}{Q_{in}}$$

Donde:

- Q_p : energía requerida para la carga de piezas
- Q_{in} : energía total.

$$\eta(\%) = \frac{Q_{\text{maxcarga}}}{Q_{in}} = \frac{54}{74.25} \times 100 = 72.72\%$$

Se entiende que existe una pérdida de potencia con respecto al quemador por la altura a la cual opera, por cada $1000m.s.n.m$ se considera un $1[KW]$ (Saro, 2012)

Diseño de ductos

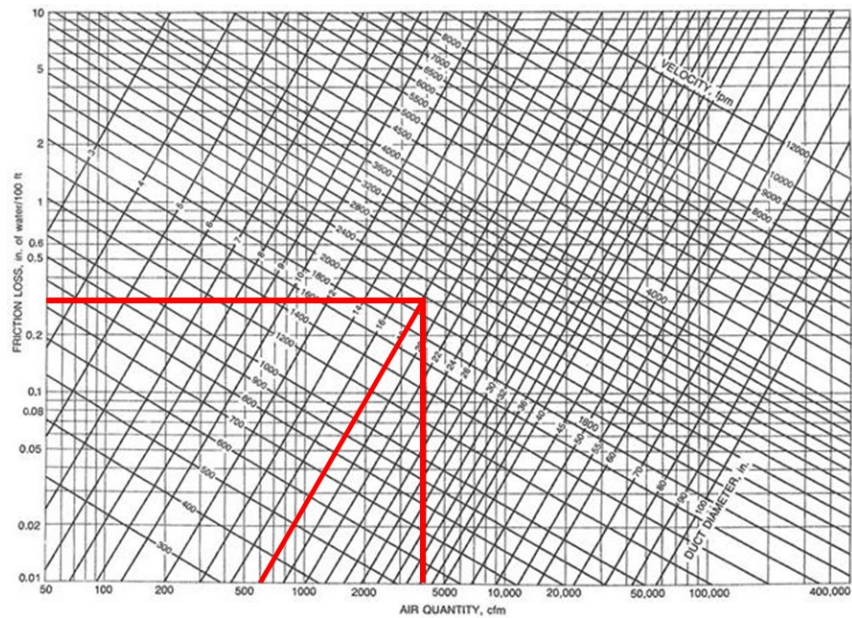
El diseño de ductos consiste en determinar las dimensiones que se necesita para transportar las tasas de flujo específicas de aire y, además, estar relacionado con el ventilador seleccionado para la tarea de redistribuir el aire caliente que se encuentra dentro del horno de curado. (Saro, 2012)

Especificado esto, es necesario conocer algunos datos que sirve de ayuda para el diseño de los ductos. El volumen de flujo de aire que se emplea es de $4000cfm$.

El método que se utiliza para el dimensionamiento se conoce como Método de igual fricción, el cual consiste en establecer una tasa de fricción constante, que describe la caída de presión promedio por cada $100ft$ de un ducto. (Saro, 2012)

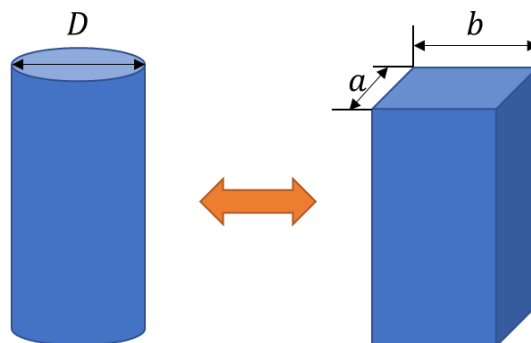
Siendo el valor más común de fricción entre 0.2 y 0.4 tomando un valor medio de 0.3 por cada $100ft$.

Se utiliza la siguiente tabla que relaciona la cantidad de aire y la perdida de fricción para conocer el diámetro en caso de ser un ducto circular. (Saro, 2012)

Figura 46*Fricción del aire en conductos*

Nota Tomado de (Solerpalau, Hojas Técnicas - Circulación de aire por conductos , 2020)

Al coincidir los valores de 4000 cfm y 0.3 de la pérdida de fricción se observa que el diámetro recomendado para el ducto $D = 18\text{ in}$, pero el diseño se especifica para ductos rectangulares, debido a que se adapta mejor a las limitaciones de espacio que posee el horno.

Figura 47*Relación ducto circular y rectangular*

Además, es necesario especificar que se busca que la relación de aspecto sea cercana a 1, esto quiere decir que la relación de ancho (a) y alto (b) sean iguales formando un cuadrado en su sección transversal con el objetivo de ser más eficiente en términos de transporte de aire.

Para lo cual se realiza lo siguiente:

$$D = \frac{1.3(a \times b)^{0.625}}{(a + b)^{0.25}}$$

Como se menciona anteriormente, se necesita que $a = b = l$, se obtiene lo siguiente:

$$D = \frac{1.3(l)^{1.25}}{(2l)^{0.25}} = 1.093 [l]$$

$$a = b = l = 16.46 [in] \cong 40 [cm]$$

El cálculo permite conocer que el ducto rectangular debe ser de $40cm \times 40cm$ para mantener el flujo de aire hacia el interior del horno. Se utiliza también un ductometro en línea para comparar los valores obtenidos como se observa en la siguiente figura.

Figura 48

Uso de ductometro en línea

Inputs		
Units*	US	▼
Material*	Metal	▼ Metal Spec Sheet*
Air Volume*	4000	cfm
Friction Loss ▼	0.3	in. wg/100'
Duct Height (Optional)	duct height	in. (Height)
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/>		
Results		
Length	100	ft
Air Volume	4,000	cfm
Pressure Drop	0.300	in. wg/100'
Round Duct	18.39	in. (Diameter)
Rect. Duct	16.30	in. (Width)
Rect. Duct	16.30	in. (Height)

Nota. Tomado de (Engineering, 2023)

Selección del ventilador

Para realizar la selección del ventilador es necesario establecer cuáles son las presiones que intervienen en el sistema de ducto, siendo la presión estática (P_{st}), la presión dinámica (P_d) y la presión total (P_T).

La presión estática es la presión que permite que fluya el aire por el ducto:

$$P_{st} = 0.8 \text{ in } H_2O$$

La presión dinámica es la presión causada por el aire en movimiento, esto se obtiene con la siguiente formula:

$$P_d = \left(\frac{V}{4005} \right)^2$$

$$P_d = 0.17 \text{ in } H_2O$$

La presión total es la suma de la presión estática y la presión dinámica:

$$P_T = P_{st} + P_d$$

$$P_T = 0.97 \text{ in } H_2O$$

Con esta información es posible establecer algunos datos del ventilador mediante la siguiente gráfica que relaciona la potencia total [Pa] con el flujo de aire $\left[\frac{m^3}{h} \right]$.

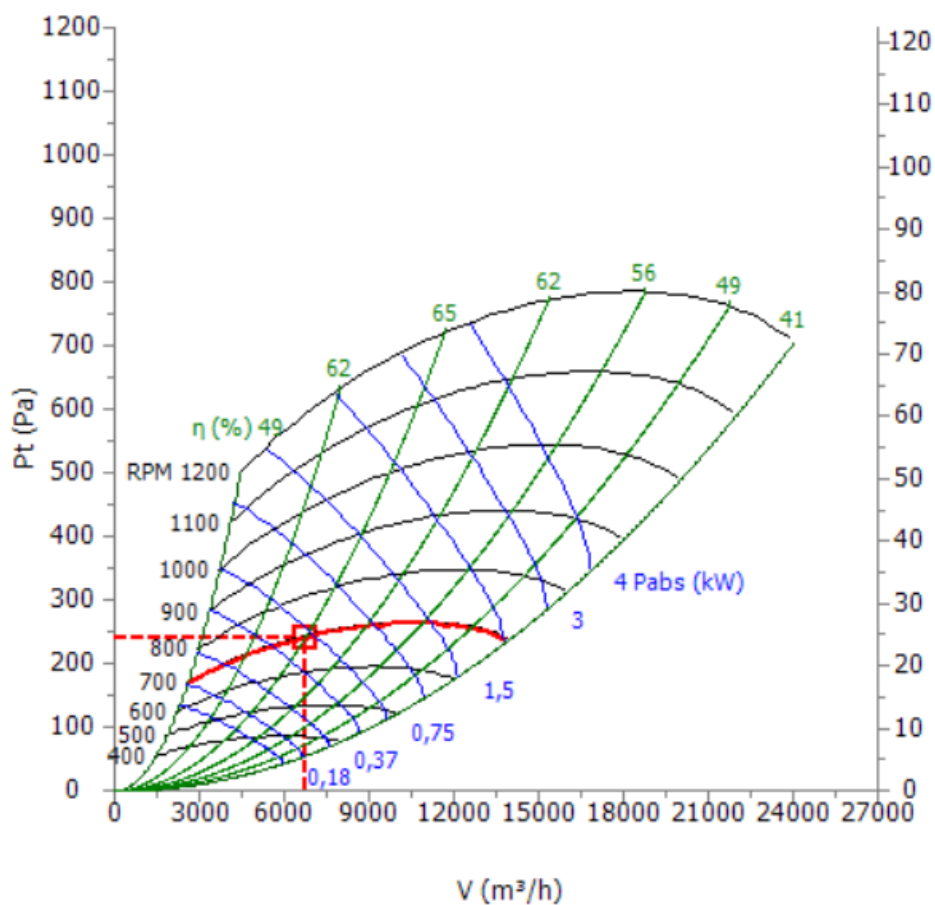
$$P_T = 0.97 \text{ in } H_2O = 241.37 [Pa]$$

$$4000 \text{ cfm} = 6796.043 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Además, se establece que el rendimiento del ventilador se trabaja al 65% el valor máximo en la tabla.

Figura 49

Relación entre flujo de aire y potencia total



Nota. Tomado de (Tecnifan, 2022)

De la figura anterior, se establece las RPM a la cual el ventilador va a funcionar que es $700RPM$ y además que la potencia absorbida (P_{abs}) por el ventilador es $0.75KW$. Con esta información, se obtiene las características importantes para el motor del ventilador:

$$P_{Motor} = 0.75 [KW] \times 1.5 = 1.1 [KW]$$

Capítulo IV

Diseño y selección de instrumentación eléctrica y electrónica

Para controlar con precisión el proceso de curado en el horno, se utilizará un microcontrolador, el cual será capaz de procesar entradas a través de sensores y ejecutar una secuencia para la salida de los respectivos actuadores.

La automatización y el estudio de los elementos que involucran este campo nos permite un correcto desempeño de cualquier máquina porque facilita su operación. Usando un controlador lógico programable para automatizar este proyecto, él mismo leerá la entrada a través del sensor de esta manera generará una salida el actuador para un control preciso.

Determinación de las variables de control

Para identificar las variables de control involucradas en el proceso de curado, a continuación, se proporciona una breve descripción del proceso de operación y las etapas de funcionamiento del horno de curado para pintura electrostática.

Cabe mencionar que el proceso cuanto, con dos modos de control, el modo manual y el modo automático, accionados mediante un selector de 3 posiciones, en este caso nos enfocaremos en detallar el proceso de forma manual.

1. Una vez pintadas las piezas y colocadas al interior del horno se procede a seleccionar el modo de trabajo (manual o automático) de esta manera se energizará el controlador de temperatura y el relé temporizador.
2. En controlador de temperatura nos indica la temperatura inicial al interior del horno mediante su sensor de temperatura, de esta manera procedemos a registrar el valor límite para la temperatura de curado y en el relé temporizador establecemos el tiempo de curado.

3. La iluminación, el ventilador y el quemador se encienden mediante el selector de dos posiciones esto logramos evidenciarlo mediante el indicador piloto color verde.
4. Mediante un selector de 2 posiciones se activa el ventilador y de igual manera el quemador el cual realiza un escaneo previo mediante su fotocelda permitiendo el paso de combustible.
5. Antes de que el controlador de temperatura apague el quemador, la temperatura del aire debe subir a 180°C, esta temperatura es obtenida por el sensor de temperatura en al interior del horno.
6. Se deben mantener 180°C durante 10 minutos (según el tiempo de curado de la pintura), luego si la temperatura desciende por debajo de los 180°C, se debe encender el quemador para mantener la temperatura de curado.
7. Pasados los 10 minutos comienza el tiempo de enfriamiento del horno, el cual tiene un valor de 10 minutos, debido a que es necesario enfriar la carga dentro del horno.
8. Al finalizar de este tiempo, el ciclo se detiene. En caso de que el horno se ingrese más piezas a curar, el ciclo debe iniciarse de manera secuencial.

Usando la explicación detallada anterior, las variables de control requeridas para el curado de pintura electrostática son las siguientes.

- Tiempo (curado de pintura)
- Temperatura.

Determinación de la Instrumentación y su ubicación.

Sensores

A continuación, se detalla el uso de sensores y pre-actuadores determinados a las variables involucradas en el proceso.

Sensor de temperatura

A la hora de elegir el sensor de temperatura se tendrán en cuenta los siguientes aspectos necesarios para el correcto desempeño en el proceso:

- Rango de temperatura: 0 – 300 °C.
- Costos.
- Linealidad.
- Acondicionamiento.

Hay varios tipos de sensores de temperatura que proporcionan un rango de temperatura deseado, lo que proporciona una matriz de ponderación para la selección del sensor, como se muestra en la **Tabla 11**.

Las alternativas que se tiene son:

- A. Termistor
- B. Termocupla.
- C. RTD

Tabla 11

Matriz de ponderación de sensores de temperatura.

CARACTERISTICAS	PONDERACIÓN	ALTERNATIVAS		
		TERMISTOR	TERMOCUPLA	RTD
Precio	40	40	40	20
Rango de temperatura	20	20	20	20
Linealidad	20	10	18	20
Necesidad de Acondicionamiento	20	5	10	20
PUNTUACION TOTAL	100	75	88	80

Los termopares son la opción más útil y económica para esta aplicación, entre los aspectos a considerar tenemos:

- Son más económicos que otros sensores de temperatura, comparando en la **Tabla 11**.
- Su rango de temperatura está dentro del requerido para el funcionamiento del horno a 200°C.
- Los termopares nos dan una señal analógica, pero un controlador de temperatura la convierte en una señal digital. Los controladores de temperatura son mucho más baratos que los dispositivos de procesamiento de señales.

En resumen, se ha elegido un termopar tipo J y sus propiedades son las siguientes:

Tabla 12

Propiedades del termopar tipo J

TERMOPAR	TIPO J
Rango Temperatura:	- 200 a 700 °C
Recubierto:	Acero Inoxidable
Precisión	1%
Composición:	Hierro, Cobre y Níquel

Nota. Recuperado de (Ingenieria, 2019)

La ubicación de los termopares será en las esquinas o zonas frías del horno, ya que estas zonas tardarán más en alcanzar la temperatura deseada. Con ello, se logra asegurar una temperatura uniforme en todas las partes del horno de curado.

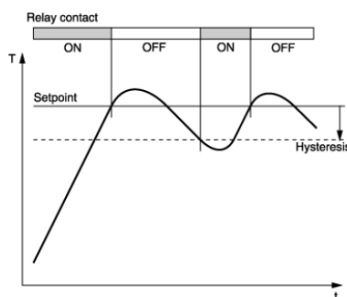
Controlador de temperatura

El control de temperatura con un termopar tipo J requiere dos parámetros:

- Punto de ajuste (SP) (Temperatura deseada)
- Histéresis (banda muerta).

Histéresis en el rango de temperatura donde la salida de control no cambia de estado. Cuando la temperatura del horno sea mayor o igual a la temperatura requerida, la salida se apagará, y si es menor que SP, se encenderá, de manera que mantendrá su posición mientras la temperatura permanezca dentro del ancho de histéresis

Figura 50

Histéresis del controlador de temperatura ST-48

Nota. Tomado de (STORKTRONIC, 2016)

En la **Tabla 13** se muestran las características técnicas del controlador de temperatura PID.

Tabla 13*Características del controlador de temperatura*

Controlador de Temperatura PID	Marca	HTEC
	Modelo	ST-48
Entrada fotovoltaica	Tipo de entrada	Termocupla (KJTRESBN) RTD (Pt100, JPt100) Lineal (1~5V, 4~20mA)
	Tiempo de muestreo de entrada	500ms
Indicación	Indicación PV/SV	4 dígitos
	Sistema de almacenamiento de valor constante	Memoria no volátil (EEPROM)
Modo de control	Banda Proporcional (P)	0,0 ~ 3000
	Tiempo Integral (I)	0 ~ 3600
	Tiempo derivado (D)	0 ~ 900
	Tiempo del ciclo	0 ~ 150
	banda muerta	0,0 ~ 200,0
Salida de control	Salida de relé	Contacto, SPDT 3A/240V CA
	Salida de voltaje	Pulso de voltaje
	Salida lineal	4~20 mA, 1~5V
	Salida de control en motores	Válvula de motor en bucle abierto
Alarma	Canal	3 canales (opcional)

Controlador de Temperatura PID	Marca	HTEC
	Modelo	ST-48
Comunicación	Tipo de comunicación	Protocolo RS-232, RS-485 Modbus RTU
Especificaciones generales	Voltaje y frecuencia de la fuente de alimentación	90 ~ 260 V, 24 V CA 50/60 Hz; 24 V CC
	El consumo de energía	< 3,5VA
	Temperatura ambiente	-10°C ~ 55°C
	Setpoint de Temperatura	-99°C ~ 999°C
	Tipo de Entrada	Análoga
	Tipo de Salida	Digital
	Protección	IP65, IP00
	Precisión de Medición	+/-0.5%
	Humedad ambiental	0 ~ 80 % de humedad relativa

Nota. Recuperado de (ST-48, 2014)

En la **Figura 51** se indica el controlador de temperatura PID seleccionado.

Figura 51

Controlador de Temperatura HTEC Modelo ST-48



Nota. Tomado de (ST-48, 2014)

Fotocelda – sensor de flama

El sensor fotoeléctrico de una caldera diésel puede detectar cambios de luz en el quemador a través de su panel electrónico y convertir la energía de la luz en electricidad. Por lo tanto, es uno de los componentes más importantes del encendido y apagado automático del quemador de la caldera.

El panel de control electrónico de la fotocélula está especialmente diseñado para registrar la posición de la caldera en un momento dado en relación con la llama del quemador.

Dependiendo de si hay luz en el quemador y del tamaño de la llama, la fotocélula genera una corriente eléctrica y la envía a la unidad de control del quemador, que a su vez da la orden de encendido o apagado del quemador.

El sensor R40 está diseñado para monitorear la llama, son aptas para iluminación frontal o lateral (90 grados). tiene una sensibilidad espectral máxima de unos 600 nm, lo que representa el máximo nivel de radiación visible de una llama de diésel.

Los sensores de este modelo (R20132573) tienen las siguientes características:

Tabla 14

Características del sensor de flama

Modelo:	Riello R40 - R20132573
Sensibilidad /color de carcasa:	Normal/Negro
Longitud de carcasa	50 mm.
Rango de Iluminación:	Frontal o lateral (90°)
Vida útil:	10 años o 250.000 ciclos de funcionamiento
Plug:	si
Peso (Kg):	0.04

Nota. Recuperado de (ABGO, 2020)

Figura 52*Fotocelda quemador modelo R20132573**Nota.* Tomado de (ABGO, 2020)**Actuadores y pre-actuadores**

Los actuadores y pre-actuadores del sistema se encargan de activar las acciones en el proceso de manera secuencial. Tenemos el quemador como fuente o entrada principal de energía al sistema y la turbina ventilador encargado de realizar la recirculación de aire al interior de la cabina, cada actuador es controlado por su pre-actuador en este caso contactores, los cuales permiten el encendido y apagado según los parámetros establecidos en el controlador del sistema.

Quemador

Los quemadores de la serie RIELLO 40F están diseñados para aplicaciones de procesos ligeros; en particular, se utilizan en los hornos de convección, rotativos o estacionarios, de pisos, de conducción y de irradiación, así como en los hornos industriales continuos, de túnel y de tuberías de vapor.

A continuación, se detalla las Características Generales del quemador Riello 40 F10. el quemador fue seleccionado acorde a las características que se indican a continuación:

Tabla 15

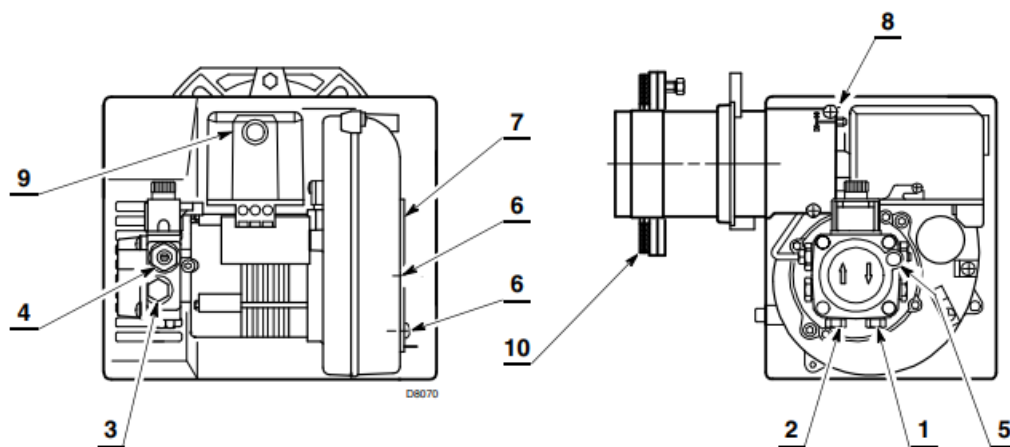
Datos Técnicos del Quemador Riello 40F10

TIPO	Quemador a Diesel RIELO 40 F10
Caudal – Potencia térmica	4,5 ÷ 9 kg/h - 54 ÷ 107 kW
Combustible	Gasóleo, viscosidad máx. a 20 °C: 6 mm ² /s
Alimentación eléctrica	Monofásica, 230V ± 10% ~ 50Hz
Motor	50 Hz – 0.75 A absorbidos – 2785 rpm – 292 rad/s 60 Hz – 0.75 A absorbidos – 3340 rpm – 349 rad/s
Condensador	4 µF
Transformador	Secundario 8 kV – 16 mA
Bomba	Presión: 7 ÷ 15 bar
Potencia eléctrica absorbida	0,17 kW
Nivel de protección	IP 40 según EN 60529

Nota. Recuperado de (RIELLO, 2016)

Figura 53

Detalle técnico de elementos en el quemador Riello 40 F10



- 1 – Retorno
- 2 – Aspiración
- 3 – Conexión manómetro
- 4 – Regulador de presión de la bomba
- 5 – Conexión vacuómetro
- 6 – Tornillos de fijación del registro del aire

- 7 – Registro del aire
- 8 – Tornillo de regulación del cabezal
- 9 – Botón de rearme con señalización de bloqueo
- 10 – Brida con juntas aislantes

Nota. Tomado de (RIELLO, 2016)

Figura 54

Aspecto exterior del Quemador Riello 40 F10



Nota. (Recisa, 2022) - Autores

Ventilador centrífugo

Para el funcionamiento de la recirculación de aire al interior de la cabina se determinó un ventilador centrífugo de doble aspiración para baja y media presión, fabricado en chapa de acero galvanizado Z-275, con salida de eje libre, transmisión por correa y polea, doble extremo de eje para facilitar el montaje en ocho orientaciones posibles.

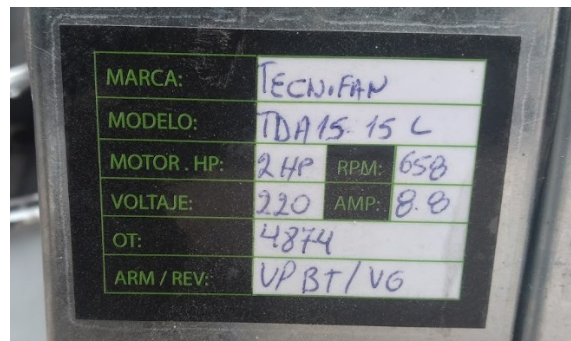
El impulsor es una pala móvil en forma de ala con buena rigidez y alto rendimiento. La estructura incrustada permite fortalecer el soporte del motor.

A continuación, se indica el aspecto interno del ventilador centrífugo modelo TDA 15/15L.

Figura 55

Ventilador Centrífugo Tecnifan TDA 15/15 L

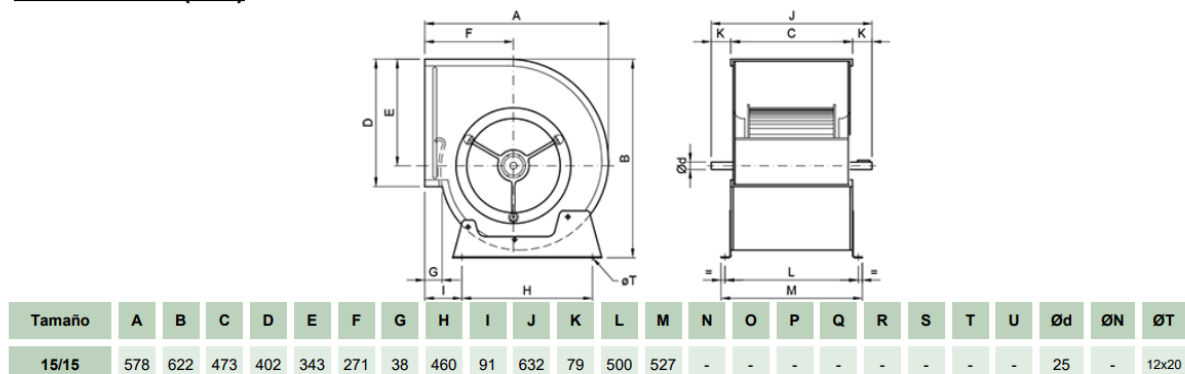
TDA 15/15 L



Nota. Tomado de (Tecnifan, 2022)

Se muestra las dimensiones (mm) del ventilador centrifugo seleccionado.

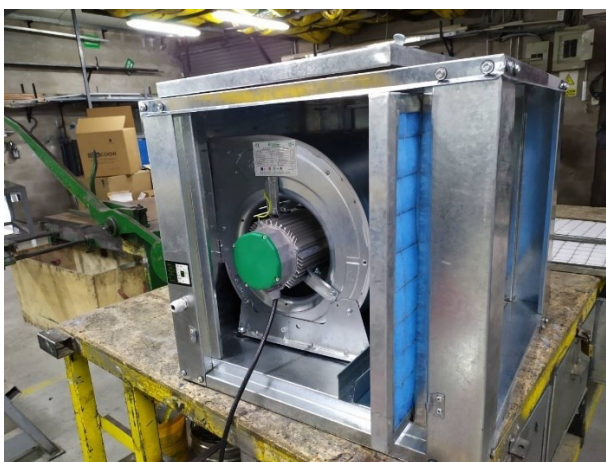
Dimensiones (mm)



Nota. Recuperado de (Tecnifan, 2022)

Figura 56

Aspecto exterior del ventilador centrifugo modelo TDA 15/15 L



Nota. Tomado de Autores

La turbina de ventilación se basa en la potencia del motor y los rpm generados para la transmisión de movimiento acoplado mediante un sistema de correa y polea, las características más relevantes del motor ventilador tenemos las detalladas a continuación.

Tabla 16

Características técnicas del motor ventilador

Motor Eléctrico	
Marca Motor	WEG
Potencia	2 HP
RPM	658 rev
Voltaje	220 V
AMP	8.8 Amp
Frecuencia	60 Hz
Potencia motor mínima	0.85 KW
Rendimiento	65 %

Nota. Recuperado de Autores

Tabla 17

Características técnicas del ventilador centrifugo

Ventilador	
Caudal máx. ($V_{m\acute{a}x}$)	12350 m ³ /h
RPM (n_{max})	1200 min ⁻¹
Potencia absorbida máx. (P_{absmax})	4 kW
Temperatura min. (t_{min}) -	20 °C
Temperatura máx. ($t_{m\acute{a}x}$)	80 °C
Peso (w)	24 kg
Momento de inercia (J)	0,27 Kgm ²
Diámetro de eje ($\varnothing d$)	25 mm
Diámetro de rodete ($\varnothing D$)	396 mm
Nº de rodetes	1
Tipo de rodete	Acción

Nota. Recuperado de (Tecnifan, 2022)

Relé térmico

Se utilizarán dos relés principales para controlar los dos actuadores, uno para el quemador y otro para el ventilador centrífugo. Los siguientes aspectos indicados en la **Tabla 18**, se toman en cuenta al momento de elegir los relés:

Tabla 18

Consideraciones para la selección de los relés

CARACTERISTICA	QUEMADOR	VENTILADOR
Voltaje de operación	220 V	220 V
Amperaje Nominal	3.5 Amp	8.8 Amp
Disponibilidad en el mercado	SI	SI

Las características de los contactores seleccionados son las siguientes:

Tabla 19

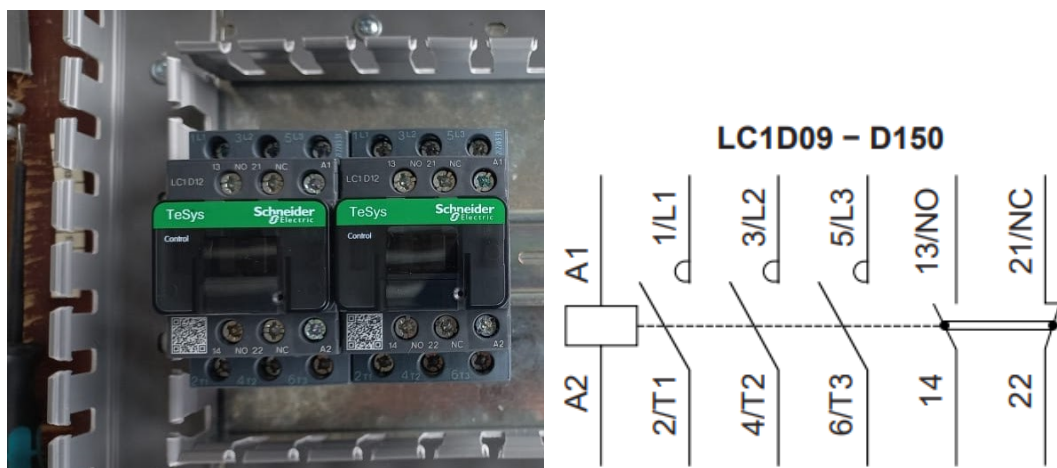
Características principales del contactor LC1D12BD

Marca:	TeSys D, Schneider
Modelo:	Contacto TeSys D - 3P, LC1D12BD
Cantidad de contactores a usar:	2
Aplicación del contactor:	Carga resistiva Control del motor
Numero de Polos:	3P
Tensión nominal:	Alimentación, estado 1 <= 690 VAC 25...400 Hz Alimentación, estado 1 <= 300VCC.
Corriente nominal de empleo:	25 A 60 °C) en <= 440 V AC AC-1 para circuito de alimentación 12 A 60 °C) en <= 440 V AC AC-3 para circuito de alimentación 12 A 60 °C) en <= 440 V AC AC-4 para circuito de alimentación
Frecuencia:	50 – 60 Hz
Poder de corte:	250A a 440V para circuito de alimentación según a IEC 60947
Durabilidad mecánica:	30 Mciclos
Grado de protección:	IP IP20 frontal acorde a IEC 60529
Peso del producto:	0,485 kg

Nota. Recuperado de (Schneider Electric, Contactor LC1D12BD, 2022)

Figura 57

Diagrama de conexiones del contactor modelo LC1D12BD



Nota. Tomado de Autores - (Schneider Electric, Contactor LC1D12BD, 2022)


Instrumentación complementaria para los actuadores y pre-actuadores

Interruptores termomagnéticos

El interruptor, o breaker, termomagnético está fabricado para la protección contra sobrecargas y cortocircuitos, gracias a su sistema de protección termomagnética. En el sistema se designó un interruptor para cada elemento principal por separado como se indica a continuación:

Tabla 20

Designación de Interruptores para el sistema

Green Premium	Contactor	Uso
	Interruptor termomagnético F1	Alimentación Principal
	Interruptor termomagnético F2	Quemador 220 V
	Interruptor termomagnético F3	Ventilador 220 V
	Interruptor termomagnético F4	Circuito de Control
	Interruptor termomagnético F5	Circuito de alimentación

De igual manera se detallan las características más relevantes de los interruptores de protección.

Tabla 21

Características principales del interruptor térmico modelo EZ9F56210

Marca:	Easy9, Schneider
Modelo:	EZ9F56210
Cantidad de interruptores a usar:	5
Aplicación del contactor:	Distribución Eléctrica Residencial y Comercial
Numero de Polos:	2P
Corriente nominal (In)	10 amperios
Red	AC
Unidad de disparo	Térmico-magnético
Poder de corte	10000A a 220 VAC según a IEC 60898-1 6000A a 400 VAC según a IEC 60898-1
Frecuencia de red	50/60 Hz
[Ue] tensión asignada de empleo	220 V AC 50/60 Hz 400 V AC 50/60 Hz
Endurancia mecánica	10000 ciclos.
Durabilidad eléctrica	4000 ciclos.
Grado de protección	IP IP20 conforme a IEC 60529

Nota. Recuperado de (Schneider Electric, EZ9F56210, 2023)

Figura 58

Interruptores Térmicos modelo EZ9F56210 usados,



Nota. Tomado de Autores


Temporizador analógico

El temporizador permite asegurar la precisión en el proceso, posee un rango de cuatro tiempos los cuales se pueden cambiar con facilidad para el operador, basta con intercambiar la posición del interruptor DIP en un rango de 0.1 seg a 3 horas, de esta manera permite al operar variar el tiempo de curado según el espesor del material a curar.

A continuación, en la **Tabla 22** se detalla las características técnicas más relevantes del temporizador:

Tabla 22

Características principales del Temporizador analógico modelo AH3-AM

	Modelo:	Temporizador analógico multirango 8 pines Camsco ah3-am
	Tensión nominal:	AC 110 V, 220 V, 380 V, 440V DC 12 V, 24 V
	Frecuencia nominal:	50/60Hz
	Voltaje de funcionamiento:	AC 85-110 % del voltaje nominal DC 80-110 % del voltaje nominal
	Potencia consumida:	2VA para AC 2W para DC
	Método de control:	operación de límite de tiempo reinicio automático
	Temperatura ambiente:	-10°C ~ +55°C
Clasificación de contacto:	250 V CA 10 A (PF = 1)	

Nota. Recuperado de (Camsco Electric, 2023)

Figura 59

Temporizador Analógico Camsco modelo AH3-AM



Nota. Tomado de Autores - (Camsco Electric, 2023)

Luces piloto

Para el desarrollo del panel de control se escogieron luces indicadoras, como se muestra en la **Figura 60** , las cuales nos permiten verificar en qué estado se encuentra funcionando el proceso en cualquier momento

Figura 60

Luces piloto usadas en el tablero de control



Nota. Tomado de Schneider Electric

Determinación del sistema de control

Como mencionamos anteriormente, el horno estará controlado por un controlador lógico programable, ya que puede ser operado fácilmente por el personal de la empresa Ferroalúvidrio, con la capacidad de cambiar los controles, valores nominales y establecer el rango de operación entre más ventajas que permite el controlador.

Hardware

En la consideración para el controlador del sistema se consideró Microcontroladores y PLC, dado que los PLC no tienen entradas analógicas, salvo la incorporación de módulos lo que eleva aún más su precio, se optó por un controlador de temperatura, es decir, un controlador que lea una entrada analógica de un termopar y la convierta en una salida digital.

Se requieren dos parámetros para controlar este dispositivo:

- Punto de Seteo [SP] (temperatura deseada)
- Histéresis (zona muerta)

Este tipo de controladores permite controlar la histéresis en un rango de temperatura que no cambia el estado de salida. La salida se desconectará (modo normal) cuando la temperatura del horno sea mayor o igual a la temperatura deseada y se conectará (modo activo) cuando esté por debajo de SP. Mantendrá su posición mientras la temperatura permanezca dentro del ancho de histéresis.

Entre las ventajas del controlador de temperatura PID se tiene una entrada multifunción que nos permite configurar las entradas del sensor. Esta solución aumenta considerablemente la flexibilidad del controlador y simplifica el almacenamiento en su memoria sin necesidad de realizar un cambio en la programación.

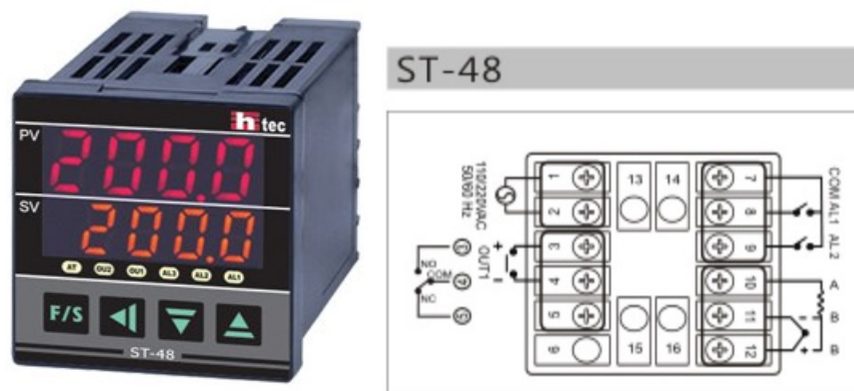
Los parámetros de control del proceso se pueden ajustar en un amplio rango, mediante el seteo de los diferentes parámetros, además, se puede activar la optimización automática (auto tuning) para ajustar los parámetros relevantes.

Los parámetros eléctricos del controlador se muestran en la **Tabla 13**. Con estos componentes electrónicos programables, es fácil elegir el tipo de control adecuado que necesita para el sistema. Entre sus ventajas se puede elegir el control de encendido/apagado (ON/OFF), es decir, el controlador activa la salida cuando el nivel de temperatura es inferior a la entrada y desactiva la salida cuando el nivel de temperatura sube desde la entrada. Además, si se requiere un control de temperatura preciso, se puede seleccionar el control PID, que estima cuándo se debe activar o desactivar dicho estado de salida en función de varios parámetros adicionales, como perturbaciones ambientales, tiempo de establecimiento, error de estado estable, etc.

En la **Figura 61** se indica el controlador de temperatura PID seleccionado.

Figura 61

Controlador de Temperatura HTEC Modelo ST-48



Nota. Tomado de (ST-48, 2014)

Lógica de control.

Para la lógica de control usada en el proceso se detallan los siguientes pasos a continuación:

1. Mediante selector principal de dos posiciones (S1), se energiza el temporizador y el controlador de temperatura.

2. Mediante el selector de arranque S1 (Quemador) y S2 (ventilador) se activan los contactores KM1 y KM2, el primero activa el motor del quemador (M1) y el segundo activa el encendido del motor de ventilación.

3. El sensor de llama (S4) esta alimentado por la señal del contactor KM1, de lo contrario envía una señal al tablero de control.

4. Cuando el sistema está cerca de alcanzar la temperatura deseada, el controlador de temperatura, provoca la apertura del contactor KM4, y cuando baja la temperatura, el controlador activa el relé de control KM4.

5. Cuando el temporizador KA1 alcanza el valor de 10 minutos, KM1 y KM4 se desactivan e inicia el proceso de ventilación para enfriar las piezas.

6. Un contactor (KM4) se encarga de la iluminación al interior de la cabina, este se activa o desactiva de manera directa según la posición del selector de dos posiciones (S3)

7. El paro de emergencia corta la energía en el sistema en los contactores KM1, KM2 y KM4 cada vez que se presiona el botón

Con lo mencionado anteriormente se obtiene el diagrama eléctrico y la simulación de la lógica de control del proceso descrita. *Ver Anexo circuito de control*

Dispositivos del panel de control

A continuación, se indica los elementos del panel de control, su disposición en el gabinete indicada en la vista exterior y de igual manera la disposición del circuito de control en la vista interior. Se detalla los elementos usados los cuales fueron previamente seleccionados en la instrumentación.

Figura 62

Dispositivos del panel de control en vista externa

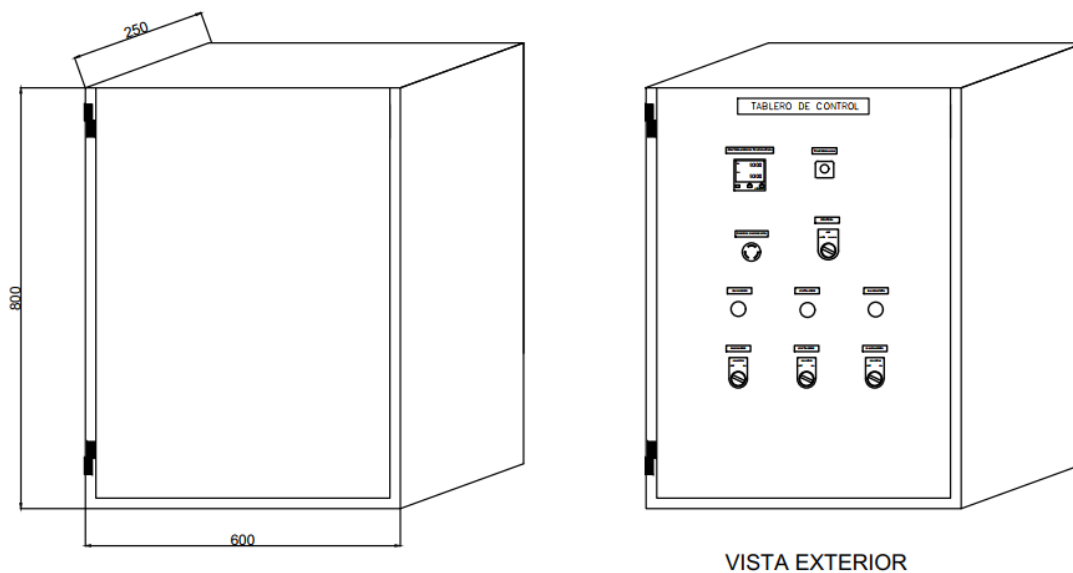
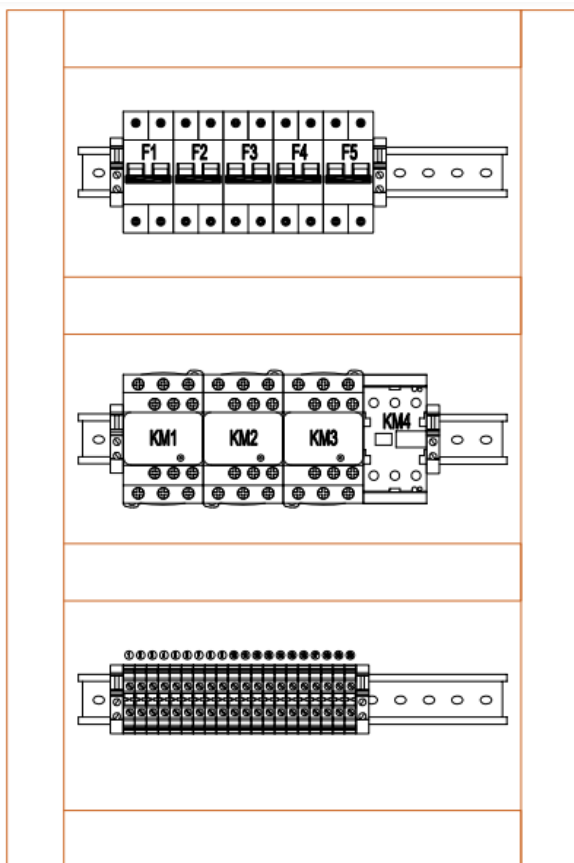


Figura 63

Dispositivos del panel de control en vista interna



COMPONENTES INSTALADOS	
ELM	DESCRIPCIÓN
F1	ALIMENTACIÓN PRINCIPAL
F2	QUEMADOR 220V
F3	VENTILADOR 220V
F4	CIRCUITO DE CONTROL
F5	CIRCUITO DE ILUMINACIÓN
KM1	CONTACTOR QUEMADOR
KM2	CONTACTOR VENTILADOR
KM3	CONTACTOR ILUMINACIÓN
KM4	RELÉ DE CONTROL

CONEXIÓN DE BORNERAS	
1	ALIMENTACIÓN (L1)
2	ALIMENTACIÓN (L2)
3	ALIMENTACIÓN (N)
4	QUEMADOR L1
5	QUEMADOR L2
6	
7	VENTILADOR L1
8	VENTILADOR L2
9	
10	CONTACTO NO (CT)
11	CONTACTO NO (CT)
12-15	LUMINARIAS (L)
16-19	LUMINARIAS (N)
20	CONTROL (L1)

Capítulo V

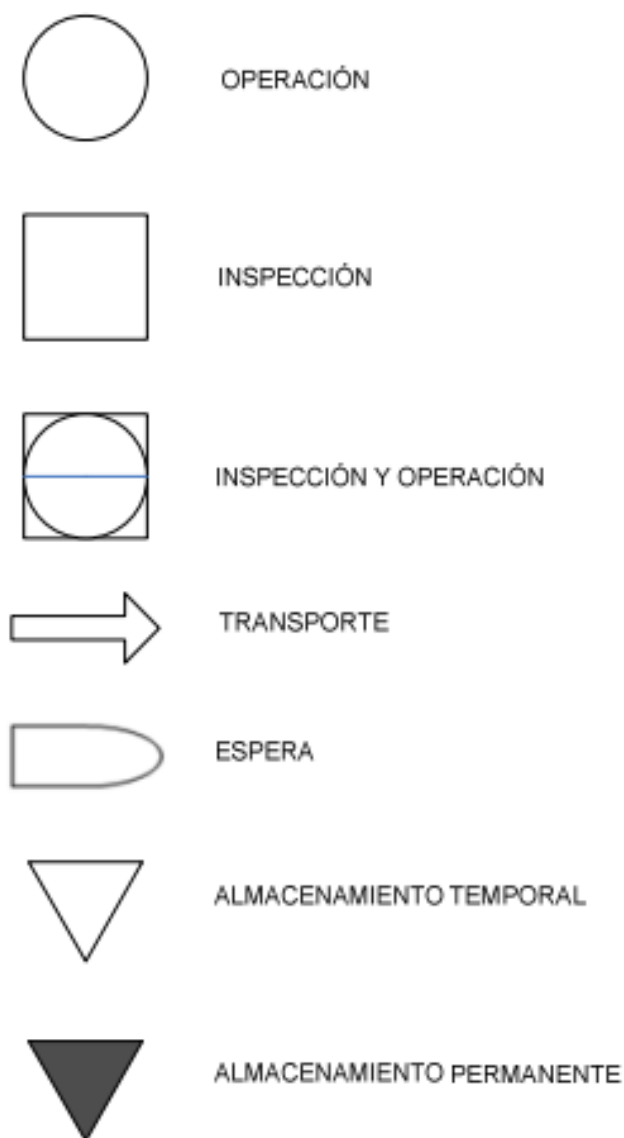
Construcción y montaje

Una vez que se completó y verificó el diseño y la selección de todos los elementos del sistema para el horno de curado para pintura electrostática, se iniciará la construcción en base a varios esquemas de planificación, la construcción del sistema incluye los siguientes procesos:

- Estructura mecánica.
- Instalación eléctrica y electrónica.
- Montaje del sistema

Diagramas de procesos.

Una vez definidos los diseños de todos los elementos, planificamos los siguientes procesos para la construcción. Para ello, se decidió utilizar una herramienta denominada diagrama de flujo. Los diagramas de flujo facilitan la identificación de la secuencia de un proceso general utilizando símbolos especiales. El significado de cada elemento que se utilizará en el diagrama de flujo es el siguiente.

Figura 64*Simbología Utilizada en los Diagramas de Procesos*

Conociendo los símbolos que se utilizarán en los diagramas de procesos, a continuación, se muestran los diferentes diagramas de bloques de la construcción de los elementos que forman parte del horno de curado para pintura electrostática.

Figura 65

Proceso de construcción y armado de las paredes del horno de curado

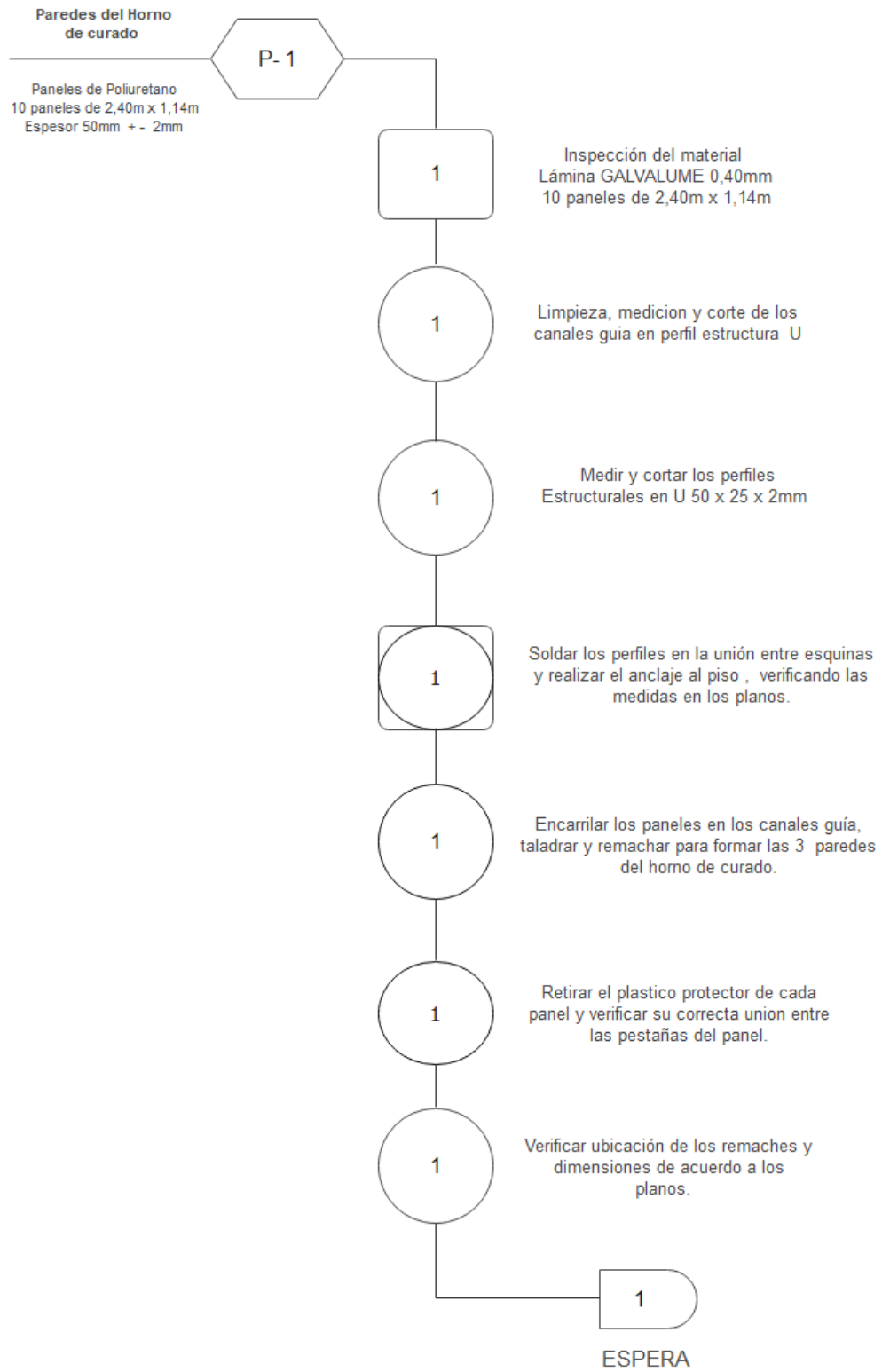


Figura 66

Proceso de construcción estructural del horno de curado.

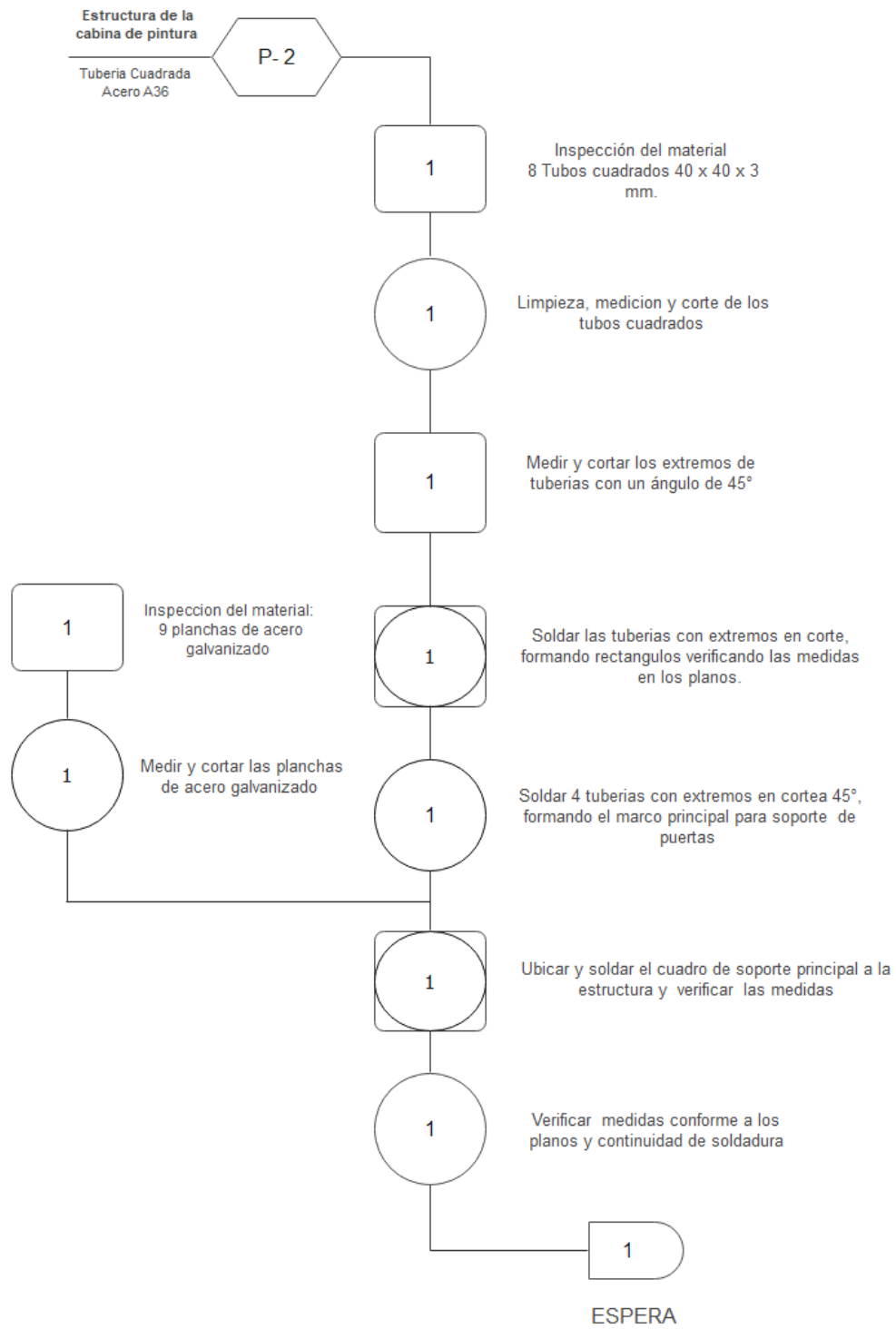


Figura 67

Proceso de construcción del hogar de los gases de combustión del horno.

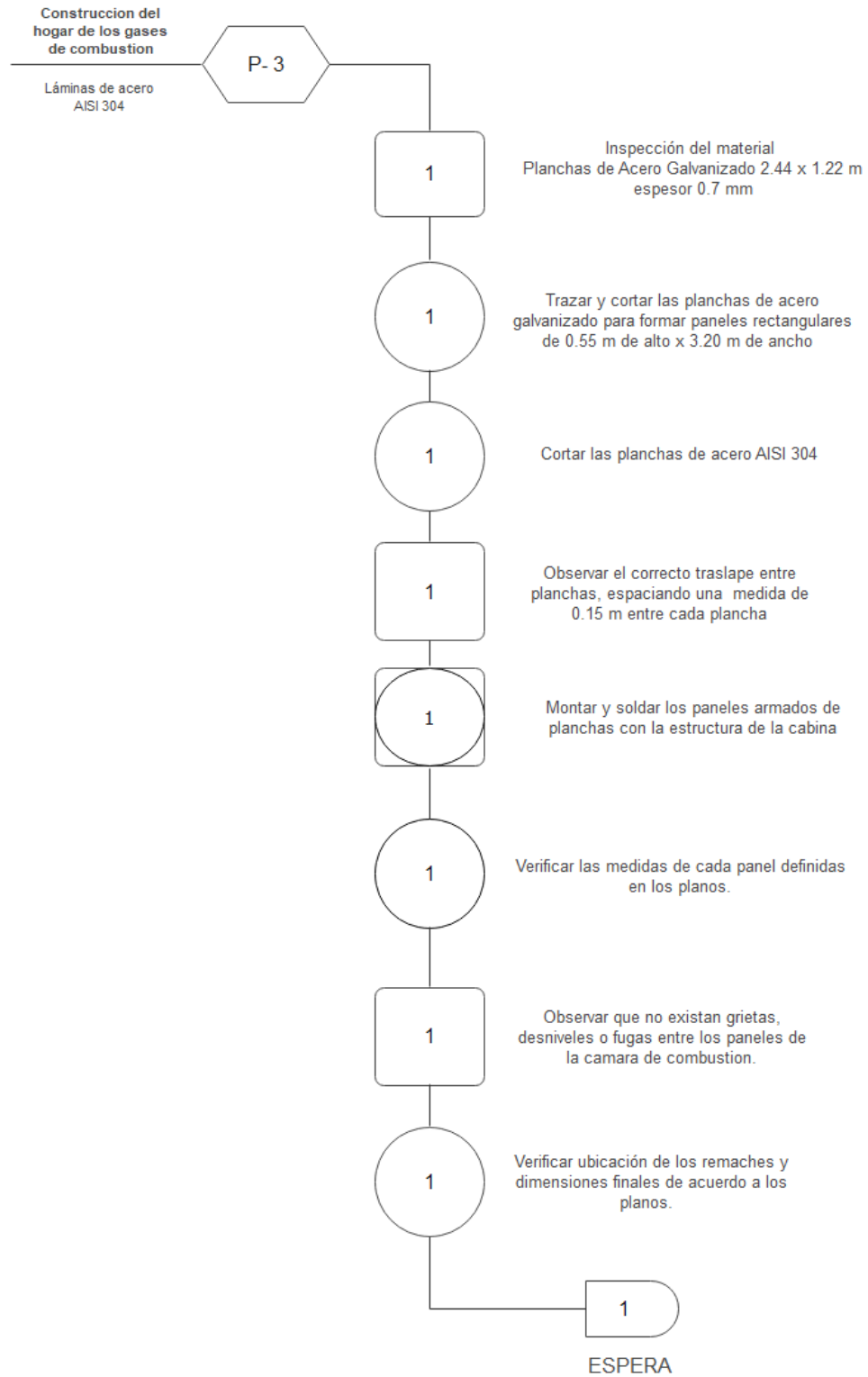


Figura 68

Proceso de construcción del ducto recto de aire del horno de curado.

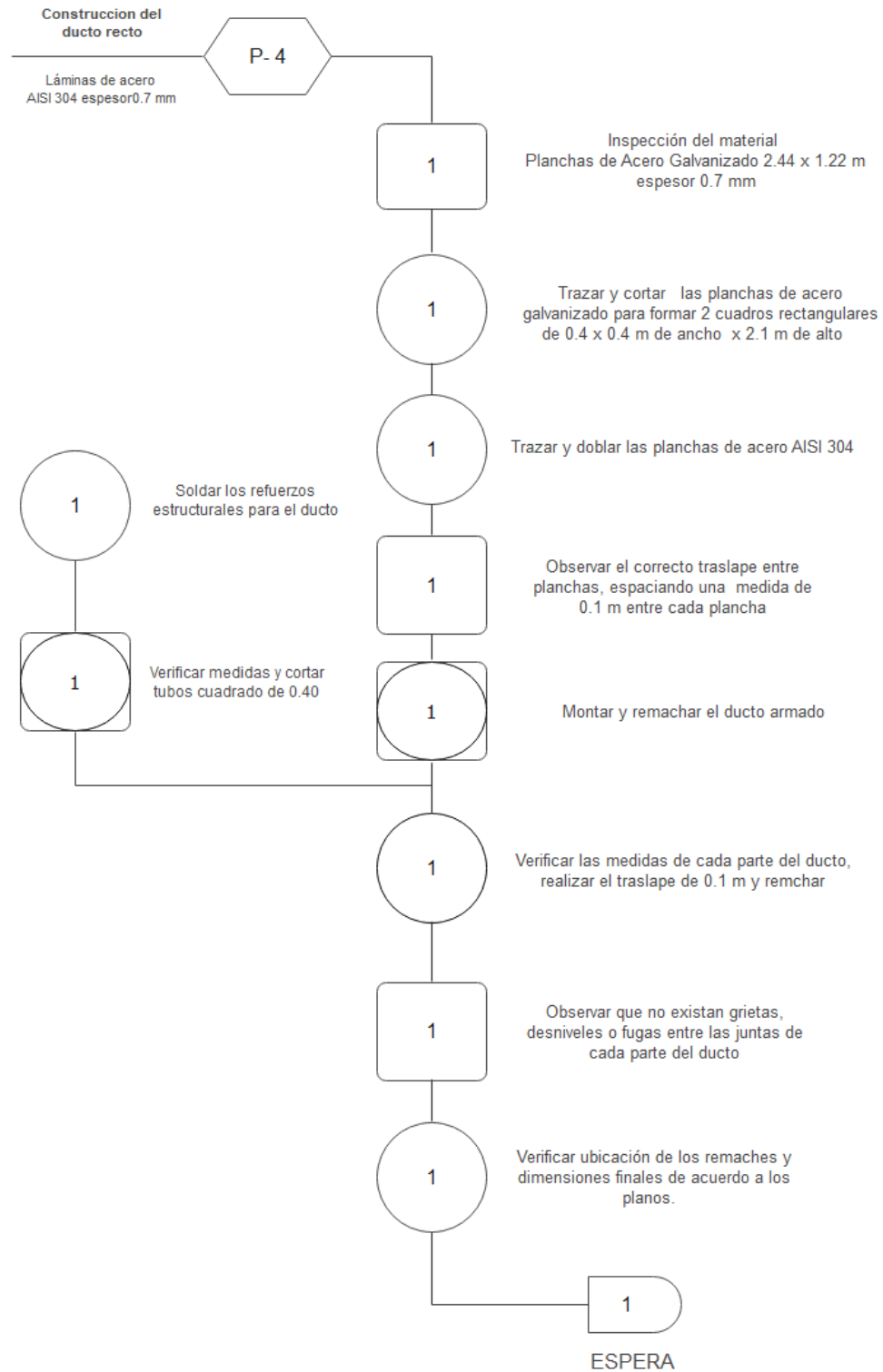


Figura 69

Proceso de construcción del codo a 90° del horno de curado.

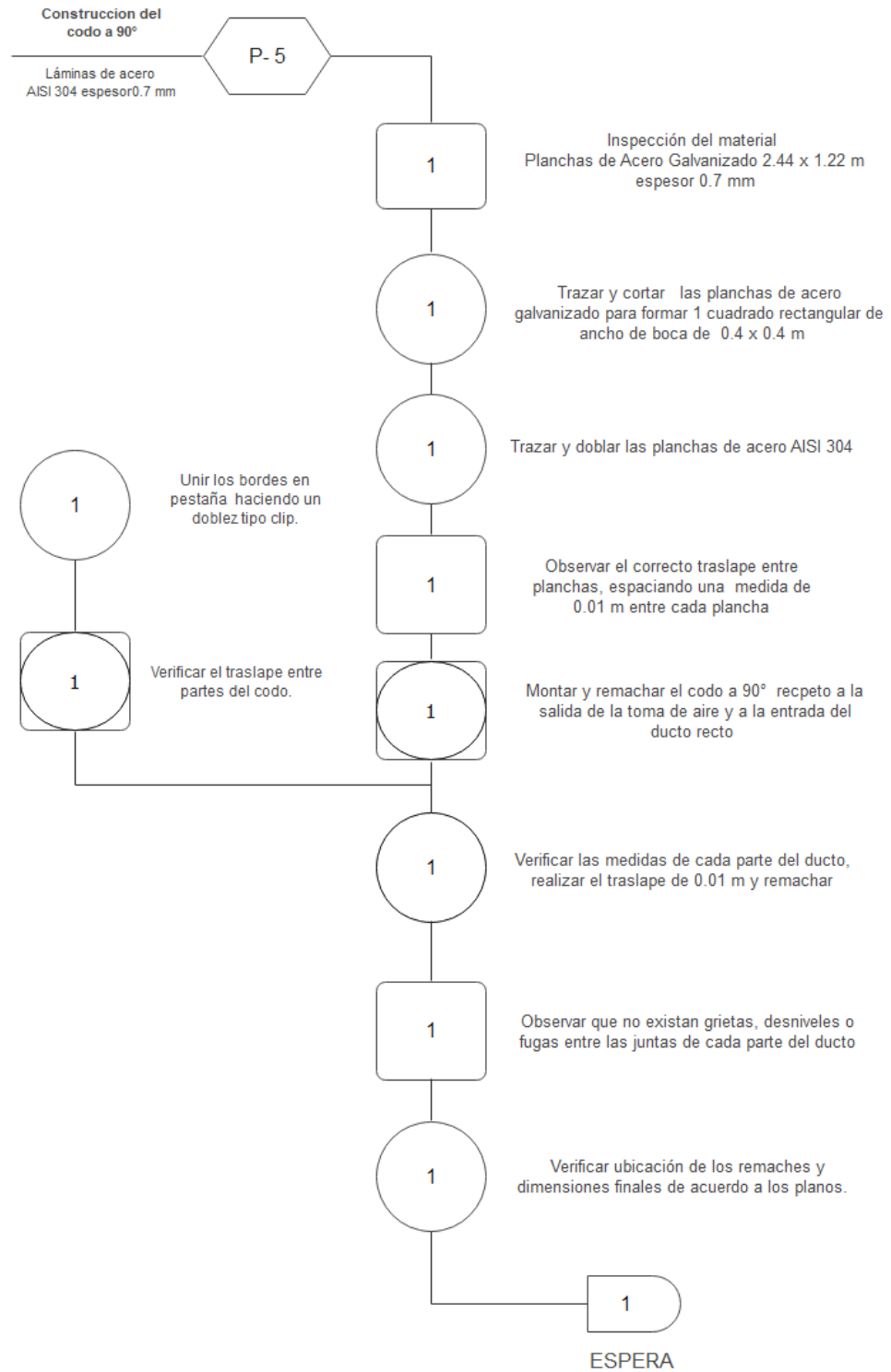
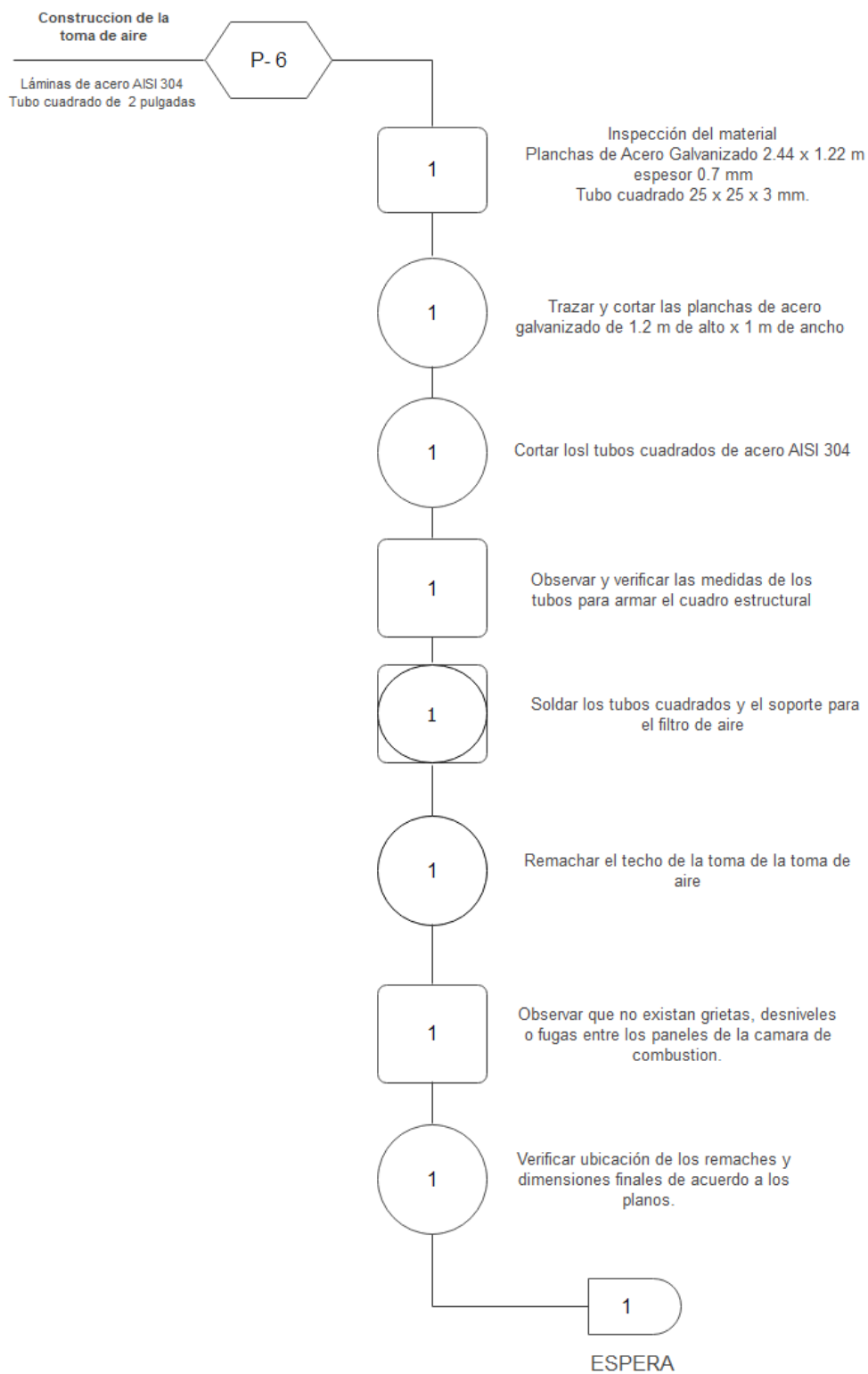


Figura 70

Proceso de construcción de la toma de aire para ventilación del horno.



Cronograma de actividades

El cronograma de actividades se encuentra en la sección Anexos. Se refleja la línea de tiempo, la cual describe en orden cronológico cómo se desarrolló la construcción de todos los elementos y partes del horno de curado para pintura electrostática, como el sistema de recirculación de aire, sistema eléctrico y electrónico, montaje de equipos y control del horno.

Recursos de fabricación

Materiales

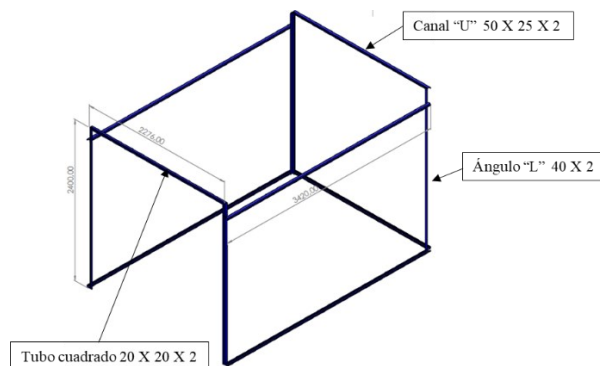
Antes de la construcción, los materiales deben seleccionarse lo suficientemente para que el sistema funcione correctamente. Los materiales que componen cada elemento se describen a continuación:

Estructura metálica

La construcción del horno utiliza tubos cuadrados ASTM-A36 de 20 mm x 20 mm x 2 mm, soldado con correas o canales U de 50 mm x 25 mm x 2 mm del mismo material para máxima resistencia y estabilidad estructural, las paredes exterior e interior del horno las soportan 4 ángulos L de 40 mm x 2 mm soldados al cuadro estructural principal, como se indica a continuación.

Figura 71

Aspecto de la Estructura Metálica del horno de curado.

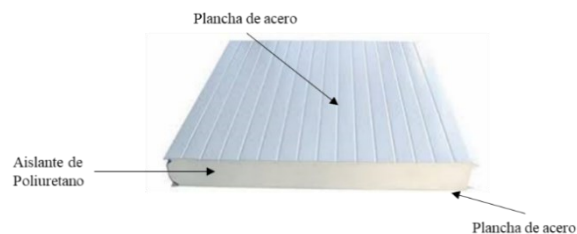


Paredes del horno y aislamiento térmico.

Se utiliza paneles de poliuretano de dimensiones 2.4 m x 1.14 m, en su interior se incluye el aislante térmico de lana de vidrio de 50 mm de espesor, protegidas por lamina galvalume prepintada de espesor 0.40 mm con esto aseguramos que el sistema puede soportar temperaturas de alrededor de 200°C, ver **Figura 72**.

Figura 72

Aspecto de los paneles de poliuretano para el horno de curado.



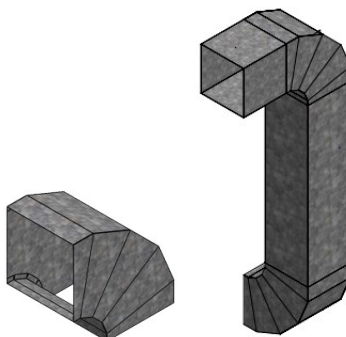
Nota. Tomado de (Verton., 2022)

Ductos

Para los ductos se utiliza chapa galvanizada de espesor 0.7 mm, se lo realiza trazando y realizando cortes en forma de pestaña a forma de traslape o junta entre partes para formar el cuerpo total., se lo emplea en un codo a 90° de dimensiones de boca 40 mm x 40 mm y un ductor recto de las mismas dimensiones con un alto de 2.1 m, como se indica en la **Figura 73**.

Figura 73

Aspecto de los ductos para el horno de curado.

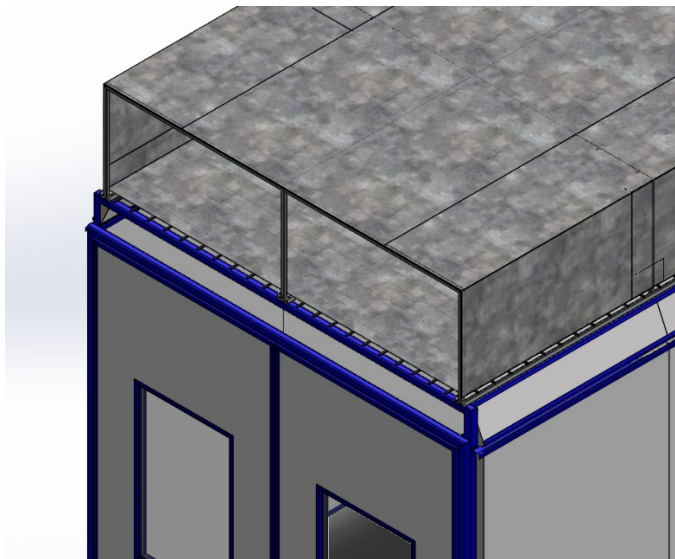


Cámara de calor

Debido a que la cámara de combustión debe soportar las altas temperaturas y mantener el calor al interior del horno, la estructura está hecha de perfiles de acero ASTM-A36 soldadas en forma de arco con refuerzos tejidos en forma de cruz y para evitar fugas de calor y mejorar la concentración se emplea planchas de acero galvanizado ASTM-A 653 dobladas en forma de arco con un espesor 0.9 mm, estas son remachadas desde la parte exterior hacia la estructura soporte principal, ver la **Figura 74**.

Figura 74

Aspecto de la cámara de calor para el horno de curado.



Nota. Tomado de Autores.

Equipos y herramientas necesarias.

Equipos

Dobladora de tol

Una dobladora de tol es una máquina que, como su nombre indica, dobla láminas de acero mediante un mecanismo similar a una palanca. Para doblar la placa de acero

correctamente, la máquina dobladora tiene un sistema de muelas abrasivas de diferentes tamaños, que pueden doblar fácilmente piezas de trabajo de diferentes tamaños.

Cizalla

Esta máquina puede cortar láminas de acero de bajo espesor con alta precisión. Esta tijera tiene un mecanismo que permite fijarla a la placa de acero del marco para garantizar una mayor precisión en el corte, así como para garantizar la seguridad del operador de la máquina.

Soldadora MIG

El proceso de soldadura MIG (Metal Inert Gas) es una subdivisión del proceso GMAW (Gas Metal Arc Welding). Este proceso de soldadura es semiautomático y consta de un soplete que alimenta automáticamente los consumibles de alambre y suele estar protegido por un gas inerte, normalmente argón. El proceso generalmente usa voltaje constante y corriente continua.

Cortadora plasma

La cortadora de plasma consta de un soplete protegido por un gas a presión generalmente oxígeno para de esta manera provocar una chispa de alta frecuencia e intensidad mediante la corriente de gas, de esta manera permite la formación del arco, este tipo de corte se realiza en materiales de gran espesor.

Taladro pedestal

Un taladro de banco es una máquina herramienta que permite perforar agujeros en una variedad de materiales. La mayoría de perforaciones en este proyecto se las realizó en acero, la ventaja de los taladros de banco es la capacidad de perforar agujeros en acero con mayor precisión y velocidad que los taladros manuales. Además, el taladro de pedestal puede controlar la altura de colocación de las piezas de trabajo y la profundidad del agujero.

Amoladora

Una amoladora es una máquina rotativa que se puede utilizar para amolar, cortar o pulir según el disco que se le coloque. Esta máquina de trabajo es tan versátil que se puede encontrar en la mayoría de los talleres de cerrajería.

Herramientas

Tabla 23

Herramientas utilizadas

HERRAMIENTA	DESCRIPCIÓN
<p data-bbox="435 804 532 835">Alicate</p> 	<p data-bbox="768 804 1403 1098">Es una herramienta con función de palanca y pinzas. los alicates son útiles principalmente para ayudar a la sujeción de partes y elementos del sistema de manipulación eléctrico.</p>
<p data-bbox="362 1140 605 1171">Pinza de Presión</p> 	<p data-bbox="768 1140 1403 1371">Muy similar a un alicate, pero con un mecanismo que se puede ajustar para sujetar diferentes grosores sin necesidad de manipulación humana.</p>
<p data-bbox="280 1413 686 1444">Remachadora tipo acordeón</p> 	<p data-bbox="768 1413 1403 1843">Una remachadora es un dispositivo mecánico que consiste en un grupo de máquinas simples; utilizados para colocar remaches, tanto en proceso industrial como en aplicaciones utilitarias o domésticas, para sujetar elementos con remaches, no necesitan ser desmontados posteriormente.</p>

HERRAMIENTA	DESCRIPCIÓN
<p data-bbox="363 264 602 296">Martillo de Goma</p> 	<p data-bbox="769 264 1403 495">Un mazo de goma es una herramienta manual con mango y cabeza de goma o plástico. Esto permite que se procese sin dañar la superficie.</p>
<p data-bbox="363 569 597 600">Destornilladores</p> 	<p data-bbox="769 569 1403 800">Un destornillador es una herramienta manual que se utiliza para apretar o aflojar tornillos moleteados en madera, metal, plástico, etc.</p>
<p data-bbox="383 873 581 905">Llaves mixtas</p> 	<p data-bbox="769 873 1403 1241">Son herramientas manuales que se utilizan para aplicar torsión para apretar o aflojar tornillos y tienen una cabeza similar a la boca de una llave inglesa. Vienen en una amplia variedad de formas y una o dos cabezas diferentes para colocar diferentes tornillos.</p>
<p data-bbox="431 1346 532 1377">Brocas</p> 	<p data-bbox="769 1283 1403 1713">Es un complemento del taladro hecho de una delgada varilla de acero con ranuras en espiral. Se utiliza para taladrar agujeros en diversos materiales como hormigón, piedra, yeso, madera o metal. Se diferencian principalmente en el material de la punta y el tipo de fijación del portabrocas.</p>

Montaje

Una vez establecido el proceso de construcción se procede al montaje de cada una de las diferentes secciones que componen el horno de curado como se detalla a continuación.

Estructura soporte

Para la estructura soporte en primer lugar se realiza la aplicación de anticorrosivo en cada elemento estructural como son, tubos cuadrados, correas y perfiles L, se estableces las medidas de acuerdo a lo establecido en los planos de construcción y se realiza los respectivos cortes a 90 y 45 grados, posteriormente se realiza los cordones de soldadura en cada perfil estructural verificando las juntas y la continuidad del cordón de soldadura.

Figura 75

Aplicación de anticorrosivo a la estructura base



Figura 76

Anclaje de estructura al piso



En cada esquina se suelda perfiles estructurales en L para mejorar la estabilidad y rigidez del marco principal del horno de igual manera en las bases se realiza el anclaje mediante perforaciones y pernos de expansión hacia el piso.

Figura 77

Fijación de la estructura metálica



Paredes laterales y puertas.

Consta principalmente de paredes laterales formadas por los paneles prefabricados de poliuretano, y puerta del horno, las cuales tienen en su interior lana de vidrio de 50 mm de espesor selladas por chapa metálica en forma de sandwich, las paredes están unidas mediante una hendidura y pestaña y son encarrilladas mediante el perfil U fijándose de manera segura con remaches de 1/8 de pulgada.

Figura 78

Fijación de las paredes laterales y posteriores



En el marco principal de las puertas se realiza el proceso de soldadura eléctrica MIC para crear un cuerpo compacto el cual soportara el peso de cada hoja de la puerta y su vidrio templado de 6mm respectivamente. Primero se colocan las paredes laterales y posterior, luego se fija el

marco o cuadro principal de soporte a la estructura principal mediante soldadura y se sueldan también sus 3 respectivas bisagras de buje en cada puerta para permitir su apertura y cierre. Para asegurar la puerta y evitar que se abra accidentalmente se incorpora 2 seguros en la parte superior e inferior.

Figura 79

Soldadura de las bisagras para puertas



Se realiza el refuerzo de la estructura colocando perfiles estructurales en los costados los cuales permiten soportar el peso de los paneles de iluminación a cada lado del horno

Figura 80

Fijación de la estructura para soporte de paneles de iluminación



Se realiza el corte, y el armado de los paneles de iluminación con medidas de 0.22 m de ancho por 3.2 m de largo, se realizan las respectivas perforaciones en las cuales se colocarán las luces para el horno y se fija la estructura soporte mediante cordones de soldadura.

Figura 81

Construcción de los paneles de iluminación



Cámara de calor

Para realizar la cámara de calor empezamos con los cortes en las planchas de acero galvanizado de espesor 0.7 mm, una vez realizado los cortes, las doblamos con la ayuda de la máquina dobladora formando planchas de 3.2 m de largo por 1.2 m de ancho esto mediante el traslape junto con remaches.

Una vez listos, montamos 3 paneles en el techo y los soldamos con la estructura metálica de soporte, de igual manera para evitar desniveles se taladra y se fija con remaches, para evitar fugas de calor en las uniones se tapan los filtros con chova líquida en las uniones.

Figura 82

Fijación mediante soldadura para el soporte de la cámara de calor.

**Figura 83**

Montaje de las planchas de acero galvanizado para la cámara de calor



Figura 84

Fijación de las planchas de acero a la estructura mediante remaches

**Figura 85**

Cierre del compartimiento de la cámara de calor



Toma de circulación de aire.

Para realizar la toma de aire se cortan tubos cuadrados de 2 pulgadas con un alto de 1.2 m y se forma la estructura principal en forma de cajón, colocamos el techo de protección y el filtro para la absorción de impurezas en la toma de aire del ventilador centrífugo.

Figura 86

Construcción de la toma de circulación de aire.



Ductos

La última parte consta de juntas y tuberías, las cuales se conectan con juntas en "S" y abrazaderas hasta que tengan la forma y longitud requerida.

Para crear un flujo de aire forzado en el ducto, se coloca un ventilador en la parte posterior del ducto, el cual se regula de acuerdo a la cantidad de aire requerida por el sistema. El ventilador es axial en posición vertical, unido a un soporte soldado a la estructura con electrodos revestidos con E6011, luego 1/2 x 2 pulgadas. atornillado al cojinete con el ventilador debajo del ventilador. el motor. El sistema de transmisión de movimiento entre el motor y el ventilador es a través de poleas y correas, este sistema se elige por conveniencia para aumentar y disminuir la velocidad solo cambiando la relación de los diámetros de las poleas,

Figura 87

Estructura de soporte realizada en tubo cuadrado para ductos de aire



Figura 88

Construcción y fijación de los ductos de aire

**Instalación eléctrica**

Para la instalación eléctrica y suministro de energía en el horno de curado se instala un disyuntor de protección en la caja principal, se manejarán voltajes de 220 V para los equipos actuadores, es por ello que se requiere de 2 líneas o fases y el cable de protección a tierra, estos 3 cables llegan al tablero de control.

Figura 89

Iluminación al interior del horno de curado



Implementación del sistema de control

En esta sección, se realiza el cableado del tablero de control, usando cable número 10 y 12 AWG para esta operación, siguiendo la secuencia del circuito de control diseñado el cual se indica en la sección Anexos, la conexión de las entradas y salidas de cada actuador, y los diferentes elementos de protección usados.

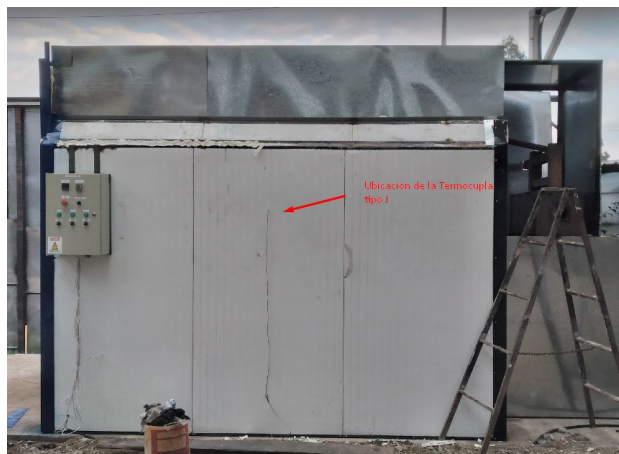
Sensores

El termopar tipo J se encuentra en esta sección y es importante tener una buena ubicación del termopar ya que esto le permitirá controlar el quemador cuando alcance la temperatura establecida. El termopar se encuentra en la parte superior central y se considera el punto frío del horno donde se tarda más en alcanzar la temperatura deseada. Al utilizar la ubicación correcta, nos aseguramos de que todos los puntos del horno tengan una temperatura uniforme, como se muestra en la siguiente figura.

Para realizar la toma de datos de temperatura, se ubica la termocupla a media altura de la pared lateral, debido a que las piezas se encuentran suspendidas en la malla de enganche y no sobrepasan la parte baja del horno y se necesita tener control sobre esta zona del horno.

Figura 90

Ubicación de la termocupla tipo J



Dei igual manera se instala la fotocelda en el quemador, la cual activa o desactiva el paso de energía eléctrica mediante la detección de la llama es decir respecto al paso de cierta cantidad de luz, para de esta manera evidenciar el correcto funcionamiento de manera segura al momento que se inicie el proceso.

Figura 91

Instalación de la fotocelda en el quemador



Actuadores

Quemador

Para el montaje del quemador debemos tomar en cuenta la distancia de ingreso respecto al cañón del quemador, de manera que se evite las figas de flama al inicio del encendido de la llama, de igual manera basándonos en el manual de operación del quemador se regula el nivel de aire optimo en 3 para que la flama queme de manera eficiente el combustible y no se generen pérdidas generadas en el proceso.

Figura 92

Montaje del Quemador Riello 40F10



Ventilador centrifugo

El montaje del ventilador centrifugo se realiza en conjunto en la parte externa ubicada tras el horno, se acopla con el ducto principal mediante remaches de 1/8

Figura 93

Montaje del Ventilador Centrifugo TDA 15/15 L



Sistema de control

En las instalaciones del sistema de control, el tablero de control se sujeta a la pared lateral del horno mediante un marco estructural soldado a la estructura del horno y se lo asegura con remaches. Una vez instalado el panel de control, se colocan y fijan todos los instrumentos que intervienen en el control, externos (controlador, indicadores luminosos y botoneras) el riel DIN en el interior del panel (Interruptores termomagnéticos, contactores, borneras etc).

Hardware

Después de colocar el gabinete, se deben determinar las conexiones eléctricas internas y externas. Las conexiones del panel de control requieren ciertos accesorios eléctricos para instalar todos los elementos que componen el panel de control en base al circuito y lógica de control diseñada junto a cada elemento de protección para cada actuador, a continuación, se indica el proceso de armado del tablero de control.

Figura 94

Elementos de protección del tablero de control



Se realiza el montaje de los rieles en el gabinete donde se monta los contactores, interruptores y borneras en su parte interna y de igual manera en la parte externa se realiza el corte mediante un sacabocados para la colocación de botoneras, interruptores el temporizador y controlador de temperatura.

Figura 95

Vista externa e interna del tablero de control



Se realiza la conexión de todos los elementos mediante cable número 12 y 14 AWG, el marquillaje de cada cable según normativa y la fijación en las borneras para seguridad y fácil manipulación en caso de un mantenimiento, una vez finalizado se organiza los cables mediante cable retráctil espiral y se coloca las protecciones en cada canaleta.

Figura 96

Conexión, marquillaje, protección y montaje del tablero de control



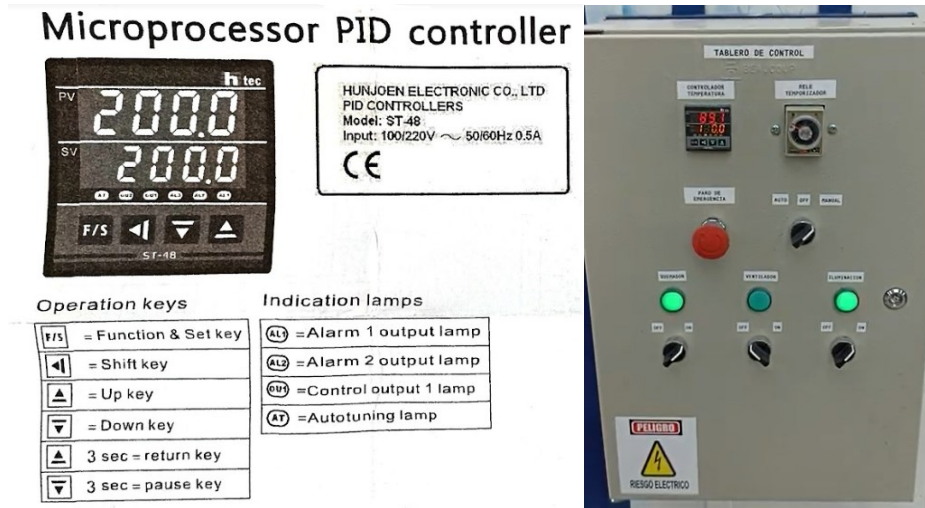
Software.

En este apartado se programa el controlador de temperatura modelo ST-48 para programarlo se puede hacer en el mismo equipo sin necesidad de software ya que dispone de su propia pantalla de programación. Para realizar esta operación, todas las conexiones al panel de control deben estar en su lugar y se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. El voltaje de suministro del controlador puede ser de 110 V/220 V
2. Cambiar a modo programación.
3. Seleccionar la termocupla en este caso tipo J en el menú principal, luego presione OK y setear el nivel máximo a 180°, verificar el indicador luminoso de alarma y el rango de temperatura en grados centígrados.

Figura 97

Configuración del controlador de temperatura modelo ST-48



Una vez que se ha finalizado el montaje, se verifica las instalaciones eléctricas, el correcto funcionamiento del sistema de control, el desempeño de cada actuador y del controlador de temperatura de esta manera el sistema será sometido a las pruebas respectivas de curado de piezas para su posterior funcionamiento.

Figura 98

Horno de Curado para pintura Electrostática.



Figura 99

Horno de Curado para pintura Electrostática.



Capítulo VI

Pruebas de funcionamiento y análisis de resultados

Las pruebas de funcionamiento del horno de curado se tienen que dividir en dos partes: la primera donde se analiza la temperatura en función del tiempo y la segunda donde se verifica la calidad de las piezas curadas.

En el primer caso, la información de la temperatura permite conocer en cuanto tiempo se alcanza la temperatura de curado indicada por el proveedor de la pintura electroestática. Además, de verificar el comportamiento del controlador ante la temperatura de referencia, se toma en cuenta el funcionamiento del sensor y los actuadores.

Parte fundamental de este proceso, es comprobar que las piezas curadas presentan las excelentes características que este proceso ofrece.

Parámetros de funcionamiento

El parámetro de funcionamiento principal es la temperatura, que mediante la termocupla se puede conocer el valor dentro del horno. La temperatura de curado depende exclusivamente del proveedor de la pintura electroestática, en el desarrollo de este proyecto se utiliza Pintura electroestática en polvo DURAPLAST de Pinturas Wesco. (WESCO, Duraplast - Pinturas, 2022)

Pinturas WESCO especifica que es necesario aplicar una temperatura de 180°C a 10 minutos o 200°C a 8 minutos para el curado. Además, dependiendo de la tonalidad del color se determina la temperatura, para colores claros se requiere menor temperatura que para los colores oscuros que necesitan mayor temperatura. (WESCO, Duraplast - Pinturas, 2022)

EL funcionamiento del quemador a Diesel se realiza con la boquilla de 1.5 galón/hora, con esta información se busca conocer cuál es el consumo de Diesel durante un proceso de operación de curado.

El tiempo de calentamiento es el tiempo que requiere el horno para alcanzar la temperatura de curado, se realiza mediante la experimentación del proceso. De esto se obtiene los siguientes valores:

Tabla 24

Tiempo de calentamiento a diferentes pruebas de curado

Curado	Tiempo de calentamiento [min]
1	4.6
2	4.3
3	4.9
4	4.8
5	4.4

De esta manera se obtiene un tiempo de calentamiento experimental para la temperatura de 180°C.

Tabla 25

Parámetros óptimos de curado obtenidos mediante pruebas experimentales

Parámetro	Cantidad
Consumo por hora	2 galón
Tiempo de calentamiento	4.6 min
Tiempo de curado	10 minutos
Temperatura de curado	180°C

El tiempo total aproximado del proceso de curado es de 15 minutos, donde se considera el tiempo de calentamiento más el tiempo de curado. Se realiza el cálculo el consumo de Diesel:

$$\text{Consumo} = \frac{\text{Consumo}}{\text{hora}} \times \text{tiempo total}$$

$$\text{Consumo} = 1.5 \frac{\text{gl}}{\text{h}} \times 15 \text{min} \times \frac{1\text{h}}{60\text{min}} = 0.5 \text{gl}$$

El precio regularizado de Diesel en Ecuador es \$1.749/*galon*, con este valor se complementa el gasto por cada curación del horno en capacidad máxima.

$$Gasto = 0.5gl \times \frac{\$1.749}{galon} = \$0.87$$

Protocolo de pruebas para el horno.

Levantamiento de información.

La toma de datos de temperatura se realiza mediante la termocupla y el controlador que presenta una salida visual del valor de temperatura sentido.

Procedimiento

Para realizar la toma de información, se realiza piezas de carpintería metálica los mismos que presentan geometrías complejas para verificar la calidad el curado de todas las superficies y poder compararlas con el pintado tradicional. Se considera para una carga media de curado.

Figura 100

Piezas de carpintería metálica



Se tiene que realizar una limpieza especial a las piezas para que la pintura electroestática pueda adherirse con mayor facilidad en la superficies. Existen algunos productos industriales que permiten una limpieza profunda de las superficies para dejarlas libre de grasa, óxido e imperfecciones.

Figura 101.

Limpieza de superficies de piezas



El montaje de las piezas se realiza en la malla de enganche, lo cual permite tener las piezas suspendidas y que no toquen el suelo con el objetivo de que eviten mancharse o que la pintura en polvo se desprenda de las superficies.

Figura 102.

Montaje de piezas en el horno



Esto se considera una carga mínima de trabajo, pero con el claro objetivo de comprobar la calidad de curado de la pintura electroestática. Para los datos de funcionamiento se realiza al máximo de capacidad y son los siguientes:

Figura 103

Gráfica de resultados obtenidos aplicando un modo de control ON/OFF

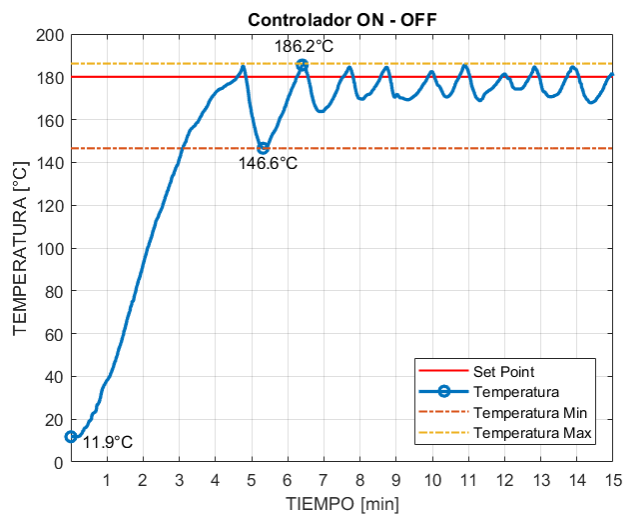
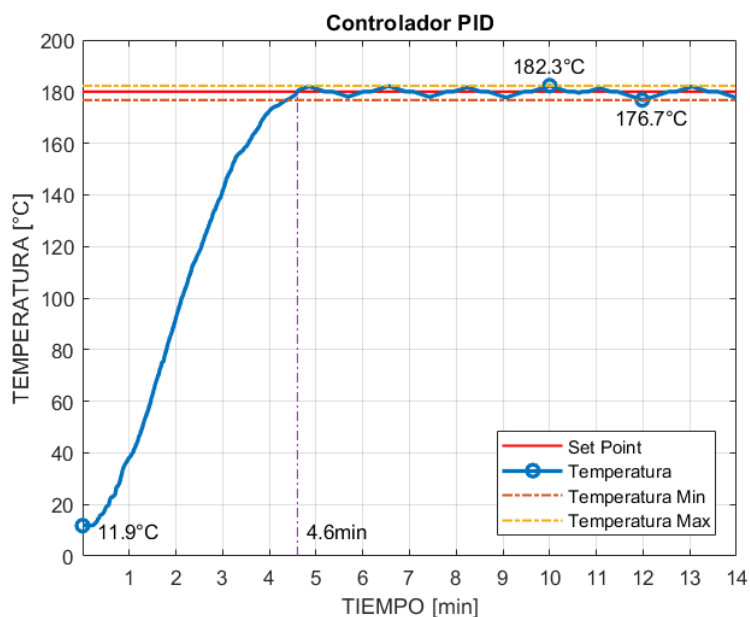


Figura 104

Gráfica de resultados obtenidos aplicando un modo de control PID



Como se observa en las figuras anteriores el controlador de temperatura modelo HTEC ST-48 permite dos modos de funcionamiento: ON/OFF y PID. Mediante las pruebas realizadas se evidencia los resultados de cada modo de control, obteniendo una temperatura mas estable dentro del horno con el controlador PID.

Pruebas de adherencia

Una vez finalizado el proceso de curado se realizaron as siguientes pruebas de calidad.

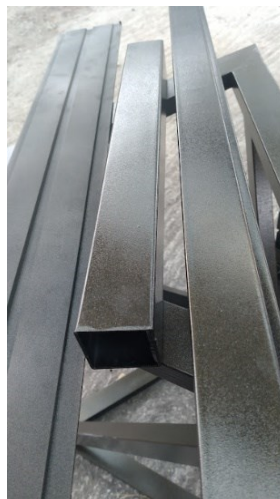
Rayado

Esta prueba de calidad se basa en rayar con una punta o cuchilla la pieza curada, formando una cuadrícula entre 4 o 5 centímetros, si se desprende es una evidencia de falta de tiempo en el proceso de curado o mala adherencia de la pintura en polvo.

Al momento de realizar esta prueba se escogió 2 perfiles cuadrados en los cuales se realizó la prueba de rayado en las diferentes caras del perfil, utilizando un estilete, como se indica en la **Figura 105**, una vez se realizó el rayado no se evidencio un desprendimiento de la capa de pintura.

Figura 105

Prueba de rayada en 2 tubos cuadrados de espesor 2 mm.



Impacto

La prueba de impacto se empleó un martillo de goma como se indica en la **Figura 106**, y un perfil cuadrado ya curado, luego de varios impactos se observó que no existe ningún doblez o deformación y tampoco se evidencio un desprendimiento de la pintura, es decir la pintura no se descascaró de la pieza.

Figura 106

Prueba de Impacto



Frotación

Para la realización de esta prueba se empleó el mismo perfil cuadrado de espesor 2 mm y un paño humedecido con disolvente, se realiza la frotación durante 10 veces en sección transversal, si el paño se mancha y la pintura se despinta significa que el tiempo de curado se debe elevar.

Una vez terminada la prueba el paño quedo sin mancha de pintura y la pieza mantuvo su aspecto, con esto logramos superar con éxito las tres pruebas para el control de calidad de piezas curadas, lo cual nos indica el correcto desempeño de la cabina de curado, el tiempo y la temperatura determinados previamente.

Figura 107*Prueba de frotación*

Lote de pieza elaboradas para su promoción en la empresa Ferroaluvdrio

Figura 108*Lote de piezas fabricadas*

Lote de pieza curadas listas para su promoción en la empresa Ferroaluvudrio

Para verificar el desempeño de la cabina de curado y a modo de promoción para el nuevo servicio que brinda la empresa Ferroaluvudrio, se fabricó 4 centros de mesa en acero estructural, los cuales se realizó el pintado en color oro negro, el curado a 180°C durante 10 minutos y su respectivo control de calidad, se indica a continuación las piezas listas.

Figura 109

Lote de piezas curadas lista para exposición



Criterios de seguridad industrial

Los criterios de seguridad más relevantes para el uso de la cabina de pintura y la ejecución del trabajo en las diversas superficies metálicas, se basa en dos aspectos fundamentales, el correcto desempeño de la cabina y las precauciones que debe tener el operador. A continuación, se detalla los aspectos más importantes.

Cabina de pintura
<ul style="list-style-type: none"> • Verificar alimentación del suministro de energía hacia el tablero de control y equipos. • Verificar conexiones de suministro de combustible y sus respectivos filtros. • Verificar las condiciones ambientales de ventilación y toma de aire para evitar la saturación en el interior de la cabina. • Verificar el correcto desempeño del quemador y el ventilador, usando el testeo desde el tablero de control usando el modo de control manual. • Adicionalmente se debe verificar el detalle de las medidas de seguridad descritas en el manual de operación de la máquina.
Operador
<ul style="list-style-type: none"> • El operador debe contar con todo el equipo de protección adecuado al momento de realizar el proceso de pintado electrostático al interior de la cabina, como es mascarilla, guantes, gafas y conjunto exterior de protección para pintura. • Al momento de ejecutar el curado de las piezas pintadas, debe verificar el interior de la cabina para extraer cualquier material que no corresponda al curado. • En el caso de suceder algún evento fortuito en el proceso, el operador debe activar el paro de emergencia ubicado en el tablero de control, posteriormente verificar la falla y su posible solución consultando el manual de operación técnico.

Manual de operación y mantenimiento.

Operación de horno

Manual de operación del horno de curado

En esta sección se detalla los parámetros y condiciones previas y posteriores al momento de iniciar el proceso de curado en la cabina de pintura para pintura electrostática.



OPERACIÓN DEL HORNO

1. Realiza el pintado de las piezas a curar mediante la pistola electrostática verificando la sujeción de las mismas mediante los ganchos ubicados en la parte superior de la cabina.
2. El operador debe percatarse de espaciar las piezas, asegurándose de que exista un espacio aproximadamente de 10 centímetros entre pieza y pieza con el fin de lograr la circulación de aire entre ellas.
3. Cierre y asegure la puerta del horno, mediante sus respectivas picaporte tanto en la parte superior como en la parte inferior
4. Verificar el nivel de suministro de Diesel.
5. Comprobar el correcto estado de los filtros de retención para la entrada de Diesel.
6. Verifique que la ubicación de la rejilla para la entrada de aire en el quemador se encuentre abierta en la posición correcta.
7. Verificar que la boquilla del quemador este correctamente instalada como de igual manera el sensor fotoeléctrico.
8. Alimentar el tablero de control mediante el accionamiento en el disyuntor principal y colocar el selector en la posición de MANUAL si es un proceso de verificación de equipos o en AUTOMATICO para la puesta en marcha.
9. Verificar el setpoint de la temperatura de trabajo en el controlador acorde al tiempo de curado y de acuerdo al tipo y color de la pintura, según la **Tabla 26**

Tabla 26*Temperatura de Curado*

Parámetro	Cantidad
Consumo por hora	2 galón
Tiempo de calentamiento	4.6 min
Tiempo de curado	10 minutos
Temperatura de curado	180°C

Tener precaución en el tiempo de curado tomando en cuenta el espesor de la/las piezas ya que, si permanecen dentro del horno por mucho tiempo, puede ocurrir decoloración, pérdida de brillo y manchas, especialmente en colores claros.

El tiempo de curado depende del grosor de la pieza metálica, ver **Tabla 27**

Tabla 27*Tiempo de curado según espesor de la pieza metálica*

Espesor (mm)	Duración del curado (minutos)
Chapas menores a 2 mm	6 – 8 minutos
Aceros < 2 mm	6- 8 minutos
Aceros > 2 mm	10 minutos

10. Seleccione el interruptor en posición AUTOMÁTICO para dar inicio al curado de las piezas.
11. Compruebe si el quemador se enciende después de 10 segundos de iniciado el proceso (tiempo de escaneo del sensor de flama) caso contrario revisar el manual (Operación del quemador) para dar solución a problemas con el quemador.
12. Espere a que termine el ciclo de curado y enfriamiento del horno. (Aproximadamente 5 minutos)
13. Abra la puerta del horno y compruebe la calidad y adherencia del color de la carga, usando las respectivas pruebas en las diferentes piezas de ser necesario.

Operación del controlador

Operación del controlador de temperatura

El controlador de Temperatura modelo HTEC Modelo ST-48 Como mencionamos anteriormente, el horno estará controlado por un controlador lógico programable, ya que puede ser operado fácilmente por el personal de la empresa

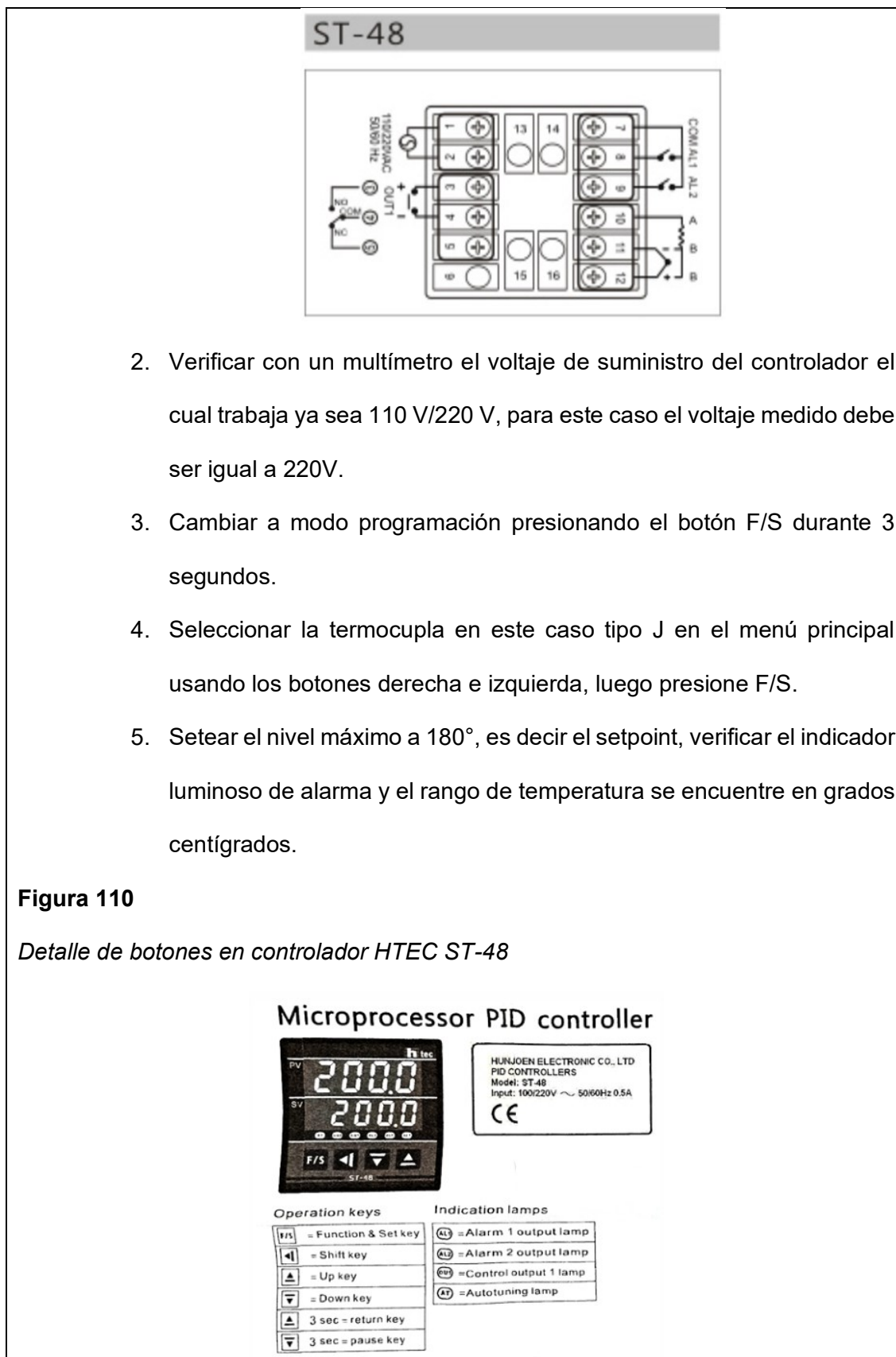


Ferroaluidrio, con la capacidad de cambiar los controles, valores nominales y establecer el rango de operación entre más ventajas que permite el controlador.

El controlador de temperatura modelo ST-48 para programarlo se puede hacer en el mismo equipo sin necesidad de software ya que dispone de su propia pantalla de programación.

Para realizar esta operación, todas las conexiones al panel de control deben estar en su lugar y se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Verificar las conexiones tanto de alimentación (AL1, AL2, COM) *pines* 7,8 y 9 conexión de sensor termocupla *pines* 10,11 y 12 y conexión a salida de alarma (*pines* 3 y 4), de acuerdo al siguiente esquema:



Operación del quemador

Operación del quemador

A continuación, se detalla el proceso para un correcto uso y puesta en marcha del quemador marca RIELLO modelo 40 F10.



ATENCIÓN: Antes de poner en funcionamiento el quemador RIELLO 40F10 debe asegurarse de que la manguera de retorno de combustible no este obstruida.

1. Verificar las conexiones eléctricas de FASE y neutro (220 V – 60 Hz).
2. Para realizar el primer arranque es necesario realizar el cebado de la bomba, para ello encienda el quemador y espere el cebado del combustible, si el bloqueo del quemador se produce antes, esperar 20 segundos e iniciar de nuevo esta operación.

NOTA. Es necesario instalar un filtro en la línea de alimentación de combustible

3. Regular la combustión de la flama según la boquilla instalada mediante la apertura y cierre del registro de aire.

Acciones a tomar si el quemador no enciende:

1. Compruebe el correcto acoplamiento y las conexiones en la caja de control del quemador.
2. Verificar que el quemador no emita una luz parpadeante color roja (señal de error) caso contrario, presionar durante 20 segundos el botón de encendido.

3. Suelte el botón y espere hasta que se encienda el quemador.
4. Si el motor del quemador arranca, pero no se produce el inicio de la llama, verifique el siguiente paso; de lo contrario, el quemador debería funcionar normalmente.
5. Compruebe si el sensor de flama ubicado en la caja de control del quemador está ubicado en correcta posición, no está sucio y se encuentra en funcionamiento, con la ayuda de un multímetro realizando la medición de continuidad.
6. Apague y vuelva a encender el sistema para comprobar que el quemador se enciende correctamente. De lo contrario, el sistema de encendido o censado del quemador puede haberse dañado y el problema debe ser resuelto por el departamento técnico del equipo.

Mantenimiento del horno.

Mantenimiento del horno de curado para pintura electrostática

El mantenimiento de cualquier equipo generalmente incluye limpieza, lubricación, ajuste, reparación y seguridad. también se debe tener en cuenta el control de calidad de equipos externos para un correcto desempeño.

Para que el horno funcione de manera óptima, se elabora un plan de mantenimiento preventivo y correctivo del horno, el cual se detalla a continuación.

A. MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL HORNO

El mantenimiento preventivo debe ser realizado por el operador del horno. Dicho mantenimiento incluye principalmente:

- Limpieza.
- Lubricación picaportes y bisagras en puerta de acceso principal.
- Verificación o cambio en el sistema de iluminación.
- Verificación del estado de los paneles de poliuretano.
- Estudio de varios sistemas y componentes relacionados con la cabina.

En caso de una situación anormal, el operador debe informar al ingeniero de planta.

B. MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN.

ELEMENTOS	ACCIONES
Ductos y toma de aire	Verificar el estado del material, soldaduras, realizar la limpieza y aplicación de pintura anticorrosiva de ser el caso.

Cámara de combustión.	Verificar el estado de las juntas y de ser necesario eliminar fugas o fisuras existentes.
C. MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DEL VENTILADOR	
ELEMENTOS	ACCIONES
Ventilador	<p>Limpia los alabes y verificar si existen fisuras.</p> <p>Verificar las conexiones en el motor, y aplicar protección aislante nueva.</p> <p>Verificar el estado de la banda de transmisión, si se observa fisuras o desgaste, cambiar inmediatamente.</p>
Filtros	Realizar la apertura de la compuerta y cambiar periódicamente los filtros de ventilación.
D. MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DEL QUEMADOR	
ELEMENTOS	ACCIONES
Quemador	<p>Verificación de las mangueras de suministro de combustible, si existen fisuras cambiar inmediatamente.</p> <p>Limpia el hollín impregnado en los electrodos y la boca del quemador.</p>

Verificar el estado de la boquilla del quemador, de forma que no derrame combustible de manera excesiva.

Verificar el estado y protecciones de las conexiones eléctricas.

Verificar la calidad de los gases de combustión, si se producen de manera excesiva revisar la apertura en la entrada de aire.

E. MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE LA CABINA DE CURADO

ELEMENTOS	ACCIONES
Piso	Limpieza de impurezas o pintura sobrante al interior de la cabina para evitar imperfecciones en el acabado superficial de las piezas.
Paredes laterales, toma de aire y cámara de calor.	<p>Verificar el estado de los paneles de poliuretano.</p> <p>Verificar la correcta ubicación y censado del termopar de temperatura, ubicado en la pared lateral derecha.</p>

Limpieza de la toma de ventilación
y filtros encargados de la recirculación de
aire.

Revisar las soldaduras y juntas en
las planchas de acero.

Capítulo VII

Análisis económico y financiero

El propósito del análisis financiero y económico es determinar qué beneficios se pueden obtener al construir el horno. Es una comparación entre el costo de construcción y los beneficios obtenidos. Usando esta comparación, se puede determinar la depreciación del activo y el retorno de la inversión.

Inversión en equipos y materiales

El costo de los materiales y equipos necesarios para la implementación el proyecto se detalla a continuación.

Costos del horno de curado

Los siguientes valores corresponden a los materiales que se utilizaron para la estructura, paredes, cámaras de combustión y ventilación. En la **Tabla 28** se indica cada material con su respectivo valor.

Tabla 28

Costo de materiales para el horno de curado

HORNO DE CURADO			
CANTIDAD	DETALLE	P. Unitario	Total
ESTRUCTURA DE CABINA			
8	Tubo cuadrado 40 x 40 x 3 mm.	\$24,50	\$196,00
12	Perfil Estructural en U 50 x 25 x 2mm	\$14,85	\$178,20
2	Angulo en L 50 x 50 x 3mm.	\$43,17	\$86,34
9	Planchas de Acero Galvanizado espesor 0.7 mm	\$26,82	\$241,38
27,36	10 Paneles alta densidad Densidad: 40 kg/m ³ + - 2	\$36,99	\$1.012,05

CANTIDAD	DETALLE	P. Unitario	Total
CAMARA DE COMBUSTION			
4	Tubo cuadrado 25 x25x 3 mm.	\$20,67	\$82,68
6	Planchas de Acero Galvanizado espesor 0.7 mm	\$26,82	\$160,92
CAMARA DE ABSORCIÓN DE AIRE			
1	Tubo cuadrado 25 x25x 3 mm.	\$20,67	\$20,67
1	Planchas de Acero Galvanizado espesor 0.7 mm	\$26,82	\$26,82
		Subtotal	\$2.005,06
		IVA (12%)	\$240,61
		TOTAL	\$2.245,66

El horno de curado también necesita implementar equipos directamente relacionados con su funcionamiento, es decir los actuadores del sistema, se detalla su precio a continuación:

Tabla 29

Costo de los equipos para el horno de curado

EQUIPOS			
CANTIDAD	DETALLE	P. Unitario	Total
1	Quemador a Diesel Riello 40 F10	\$850,00	\$850,00
1	Ventilador Centrifugo Tecnifan TDA 15/15 L	\$1.211,90	\$1.211,90
		TOTAL (INCLUIDO IVA)	\$2.061,90

Costos del sistema de automatización y tablero de control

Estos costos corresponden específicamente a la parte eléctrica, y electrónica principalmente los componentes ubicados en el tablero de control:

Tabla 30

Costo de elementos para el tablero de control y el sistema de automatización

AUTOMATIZACIÓN - TABLERO DE CONTROL				
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNID	PRECIO
1	TABLERO 60X40X20	1	UND \$	91,15
2	CONTROLADOR PID DE TEMP HTEC ST48 48X48	1	UND \$	106,21
3	SELECTOR 2P	4	UND \$	24,68
4	TERMOCUPLA TIPO J CON CABEZAL 20CM	1	UND \$	78,20
5	CONTACTOR TESYS - 3P, LC1D12BD	2	UND \$	142,80
6	BASE CONTACTOR	2	UND \$	5,66
7	TEMPORIZADOR ANALOGICO CAMSCO	1	UND \$	71,51
8	PARO DE EMERGENCIA	1	UND \$	7,68
9	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO EZ9F56210	5	UND \$	206,60
10	LUZ PILOTO VERDE	3	UND \$	12,39
12	BORNERAS 10 AWG	20	UND \$	22,14
13	RIEL DIN	3	UND \$	7,52
14	CANALETAS 60X40	4	UND \$	37,14
15	CABLE TERMOCUPLA	10	MTS \$	41,50
		TOTAL	(INCLUIDO \$ IVA)	855,18

Costos de la acometida de diésel

En esta sección se incluyen accesorios, filtros, herramientas en la conexión mediante el cilindro de suministro al quemador como se describe a continuación:

Tabla 31*Costos de la acometida de Diesel*

ACOMETIDA DE DIESEL			
CANTIDAD	DETALLE	P. UNITARIO	TOTAL
1	Tubería Principal en espesor 12 mm	\$ 20,00	\$ 20,00
1	Boquilla para quemador con apertura 2 galones/hora	\$ 10,50	\$ 10,50
2	Mangueras de conexión 1" 1/2 pulgadas	\$ 8,50	\$ 17,00
2	Neplo de conexión 1/2" x 1,1/2 "	\$ 1,65	\$ 3,30
1	Rollo de Teflón	\$ 0,65	\$ 0,65
2	Reducción 1" x 1/2"	\$ 1,10	\$ 2,20
1	Tanque de 60 Galones	\$ 15,00	\$ 15,00
1	Filtro para Diesel Pure Oil	\$ 17,30	\$ 17,30
TOTAL (INCLUIDO IVA)			\$ 85,95

Costos de materiales complementarios

Los costos indirectos corresponden a todos los gastos no incluidos directamente en el presupuesto calculado para el proyecto. Entre estos costos se pueden considerar los costos indirectos de las materias primas indirectas, estos se refieren a materiales como electrodos, tornillos, muelas abrasivas, etc.:

Tabla 32

Listado de materiales complementarios

MATERIALES COMPLEMENTARIOS			
CANTIDAD	DETALLE	P. UNITARIO	TOTAL
9	Pernos de anclaje Expansores 3/8" x 2"	\$ 0,55	\$ 4,95
300	Remaches 1/8"	\$ 0,02	\$ 6,00
200	Remaches 3/16"	\$ 0,02	\$ 4,00
2	Broca 3/16"	\$ 0,50	\$ 1,00
2	Broca 1/8"	\$ 0,50	\$ 1,00
100	Tornillos autoperforantes	\$ 0,04	\$ 4,00
5	lbs. Electrodo E-6011 AGA	\$ 2,00	\$ 10,00
2	Vidrio templado 60 cm x 50 cm espesor 6 mm	\$ 45,00	\$ 90,00
1	Malla electrosoldada de 10 x 10 x 4 mm.	\$ 46,20	\$ 46,20
2	Galones de Pintura color azul	\$ 16,80	\$ 33,60
2	Galones de Pintura anticorrosiva	\$ 23,85	\$ 47,70
1	Caja de Pintura electrostática WESCO 25 kg color negro	\$ 187,77	\$ 187,77
6	Lámparas Led 12 x 9 watts	\$ 8,70	\$ 52,20
TOTAL (INCLUIDO IVA)			\$ 488,42

Análisis de valores para la construcción.

Se analiza los valores empleados en el sistema, se consideró los porcentajes de inversión de cada parte que conforma la cabina de curado.

El objetivo es diferenciar las tarifas y sugerir variaciones o cambios en el proceso de construcción o incluso en los materiales, ya sea para fabricar una cabina de las mismas dimensiones o incluso mayores, en base a tener un presupuesto base.

Tabla 33

Inversión Total

INVERSIÓN TOTAL		
DESCRIPCIÓN	INVERSION TOTAL	INV %
ESTRUCTURA DE CABINA	\$ 2.245,66	39%
AUTOMATIZACION - TABLERO DE CONTROL	\$ 855,18	15%
Quemador a Diesel Riello 40 F10	\$ 850,00	15%
Ventilador Centrifugo Tecnifan TDA 15/15 L	\$1.211,90	21%
ACOMETIDA DE DIESEL	\$85,95	1%
MATERIALES COMPLEMENTARIOS	\$488,42	9%
TOTAL	\$ 5.737,11	100%

Una vez determinados los costos de construcción, se pueden observar las inversiones que representa cada parte, dentro de las cuales la estructura de la cabina y los equipos (ventilador y quemador) son la inversión más representativa de todo el sistema, acaparando un 75% de la inversión total, con ello se debe considerar que a mayor tamaño de la cabina mayor será la inversión para su construcción.

En el sistema de automatización (tablero de control) y acometida de Diesel se utilizaron equipos de Francia (Schneider electric) e italianos (Riello), es decir equipos y elementos importados con alta confiabilidad en el mercado, sobre todo garantía y repuestos, con ello se proporciona una garantía de funcionamiento para una larga vida útil de la cabina de curado.

Se debe mencionar que para la construcción de la cabina no se detalló la inversión por mano de obra, lo cual se debe tener en cuenta al momento de modificar dicha inversión.

Depreciación y recuperación de la inversión.

Para realizar esta estimación se considera un periodo de 5 años, basándonos en la inversión total realizada en el proyecto, la cual sería nuestra inversión inicial, de esta manera considerando como valor limite que se obtienen cada mes ganancias de obra de aproximadamente \$500 mensuales, se realiza el siguiente cálculo.

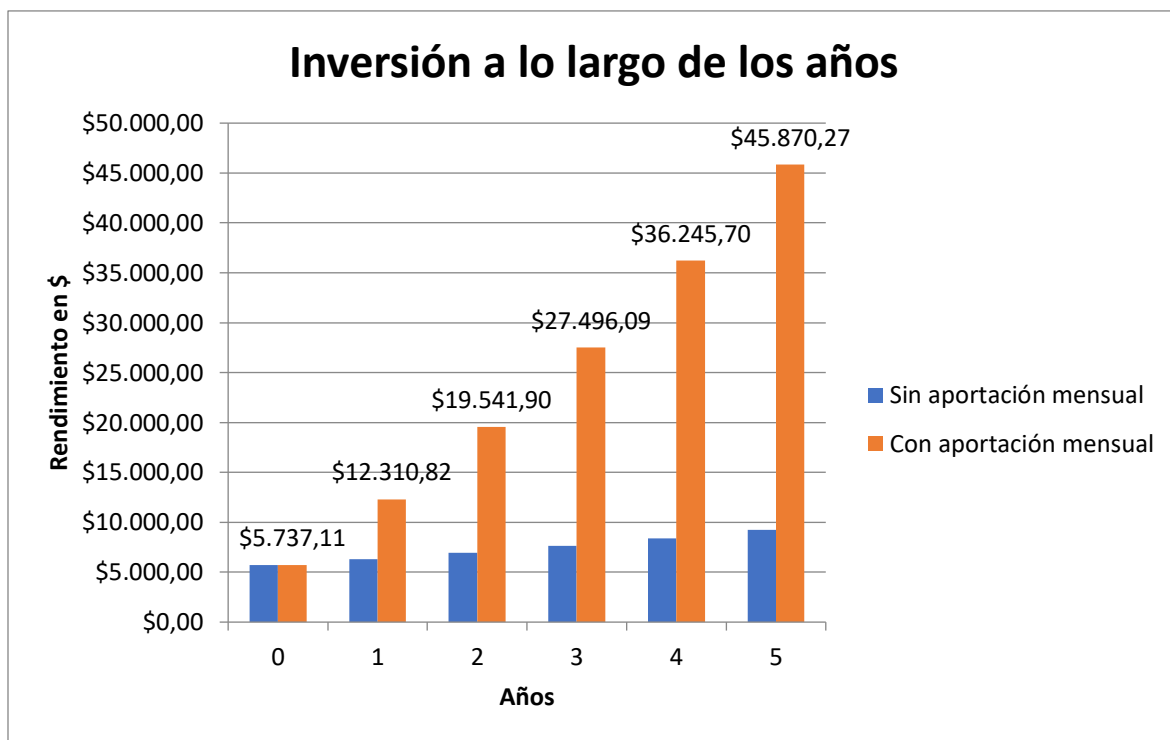
Tabla 34

Depreciación y recuperación de la inversión

Inversión Inicial	\$5.737,11
Interés (Rentabilidad Anual)	10%
Plazo (Años)	5
Abonos (mensuales)	\$500,00

Figura 111

Proyección recuperación de la inversión inicial



Se puede apreciar en la **Figura 111** que todos los parámetros económicos utilizados anteriormente son positivos y por lo tanto factibles para el proyecto, es posible recuperar la inversión el mismo año en curso (12 meses) incluso si cada mes no se genera el valor de abono mensual propuesto se generan ya ganancias, se concluye que la construcción de la cabina de curado para pintura electrostática para la empresa Ferroaluidrio es factible y aplicable, permitiendo abaratar los costos respecto a cabinas importadas en las cuales la inversión cuadruplica el precio planificado.

Manual de operación del horno de curado para la empresa Ferroalúvidrio**Manual de operación del horno de curado****Precauciones y medidas de protección aplicables****Consideraciones previas.**

1. Asegúrese de que el área de trabajo esté limpia y solo tenga las herramientas necesarias para hacer el trabajo de pintado.
2. Realizar una evaluación de riesgos laborales de los lugares de trabajo y fichas de seguridad de productos utilizados para medidas preventivas y de protección personal.
3. Utilizar el equipo de trabajo especificado por el fabricante de la pintura en polvo para la realización de las tareas al interior de la cabina.
4. Siempre tome precauciones para evitar la formación de una atmósfera densa al interior de la cabina, siempre se recomienda activar la ventilación al momento de realizar el pintado de las piezas.
5. Comprobar el estado del extintor de CO₂ junto a la cabina de pintura.
6. Establecer la limpieza y mantenimiento para el sistema de toma de aire, limpiar las rejillas y considerar el reemplazar los filtros cada 6 meses o según sea conveniente.
7. Los filtros de aire y gasóleo deben reemplazarse durante el mantenimiento de la cabina.
8. Para garantizar el correcto desempeño, las instalaciones eléctricas deben ser inspeccionadas periódicamente por personal autorizado.

Consideraciones en la puesta en marcha

1. Evitar la presencia de personal en el puesto de trabajo durante el proceso de secado.
2. El personal tiene la capacidad de activar las luminarias al interior de la cabina según sea conveniente ya sea en el proceso de pintado, curado o ambos.
3. No coma ni beba cuando trabaje o manipule productos químicos.
4. No fumar, jugar, ni usar teléfonos móviles.
5. Evite tirones repentinos de la pistola, use una fuerza gradual y constante.
6. Si la temperatura ambiente aumenta rápidamente o aparecen síntomas de incomodidad, abandone la cabina.
7. Si descubre que la rejilla de ventilación está dañada u obstruida, debe abandonar inmediatamente la cabina y notificar inmediatamente a la persona responsable de la inspección o reparación.
8. En caso de fuga de pintura, detenga inmediatamente el proceso y apague la máquina.

Consideraciones en la finalización del proceso de curado.

1. Cierre todos los contenedores de productos químicos usados y deséchelos en las áreas designadas.
2. Recupere el material de pintado derramado durante el proceso.
3. Limpie la pistola electrostática, la boquilla y la manguera de suministro, percatarse de guardar el sobrante de pintura ubicado en el depósito de ser el caso.

4. Recoja las herramientas usadas y otros equipos de trabajo y colóquelos en los lugares designados.
5. Corte el suministro de energía mediante el disyuntor principal en el sistema de alimentación ubicado en el tablero de control principal.
6. Para precautelar la seguridad y funcionamiento evitar el uso del personal no autorizado.

Capítulo VIII

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

La estructura del horno se diseña con perfiles metálicos y angulares estructurales los cuales darán soporte, además, se subdivide en una estructura para paredes y otra para el techo de la cabina de curado. También, se diseñó una estructura para mantener a los equipos protegidos contra elementos externos, únicamente se da acceso para realizar labores de mantenimiento. Para facilitar el montaje de las paredes del horno se usa paneles de Poliuretano tipo sándwich compuestas por planchas de acero de 0.6mm y relleno de poliuretano de 45 mm, permitiendo mantener una cámara completamente sellada y hermética en su interior.

Se selecciona el quemador modelo Rielo 40 F10 cuya fuente de calor es el Diesel, ecológico por sus ventajas económicas y ambientales. Se considera un sistema estable ya que de esta forma el calor es suministrado por 1 quemador el cual fue seleccionado de acuerdo a la potencia calorífica requerida en su interior, el sistema a Diesel implementado cubre todo el horno con la temperatura estable necesaria con el fin de garantizar la homogeneidad del curado de la pintura electroestática a la salida del horno.

El horno de curado cuenta con un sistema de ventilación el mismo que permite recircular el aire dentro de la cabina, se diseña el sistema de ductos para que el flujo de aire sea constante. La forma de los ductos es rectangular debido a las limitaciones de espacio, el ducto comienza desde la salida del ventilador hasta la cámara de aire.

Se utiliza una termocupla Tipo J, la misma que se ubica en la pared lateral del horno a media altura. Se opta por esta posición debido a que la mayoría de piezas que se procura curar se encuentran suspendidas en la malla de enganche. El rango de trabajo de la termocupla es $5^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$, lo cual se encuentra dentro de los parámetros de curado.

El sensor de flama se encuentra dentro del quemador a Diesel, su función es la escanear el interior del cañón, cuyo valor cambia a alto en el momento en que detecta la flama generada por la chispa entre los electrodos, de esta manera se inicia con el proceso de combustión.

El proceso de curado requiere de 10 minutos una vez alcanzado la temperatura de 180°C , el tiempo necesario de calentamiento es aproximadamente 4 minutos, lo cual representa que el tiempo que el horno necesita estar en funcionamiento para un proceso de curado es 15 minutos a máxima capacidad, este corto periodo de tiempo se logra gracias al diseño térmico de paredes, quemador y ventilador para obtener una cabina completamente hermética, obteniendo así una alta eficiencia térmica.

Para controlar de forma precisa el proceso, se utiliza un controlador de temperatura PID Programable, el mismo que procesa la señal de la termocupla y ejecuta secuencias generadas hacia el quemador, el controlador de temperatura está equipado con una pantalla LED doble, que puede mostrar tanto la temperatura de medición como la temperatura de ajuste establecida.

Se utiliza la lógica cableada para realizar el control de temperatura dentro de la cabina con los respectivos elementos de protección y control como relés térmicos, disyuntores y contactores. Se utiliza un controlador PID para el quemador y un controlador ON- OFF para el ventilador en un lapso de tiempo de aproximadamente 30 segundos.

Se diseñó el tablero de control con indicadores visuales para que el operador visualice en tiempo real el estado del proceso en los equipos principales como: quemador, ventilador e iluminación de esta manera comprobar su correcto funcionamiento. Además, se incluyó un botón de paro de emergencia como elemento de seguridad.

Se realizó diversas pruebas de funcionamiento de la cabina de curado como medida para el control de calidad de las diferentes piezas, las pruebas que se realizaron fueron, rayado, impacto y frotado, cada una de estas pruebas permitieron analizar la calidad del curado, el tiempo y temperatura óptima establecida, de esta manera se logró concluir con grandes resultados manteniendo la calidad e integridad de la pintura en las piezas tratadas.

Recomendaciones

Para el correcto uso y manejo del horno se recomienda utilizar el manual de usuario de igual manera el manual de operación donde se detalla cada uno de los aspectos y elementos destinados a su operación.

Se recomienda implementar un cuarto dedicado especialmente para el pintado de las diferentes piezas metálicas, para de esta manera aprovechar al máximo la reutilización de la pintura en polvo.

Se debe realizar un mantenimiento preventivo y correctivo en los diferentes actuadores, y componentes del horno de curado, de igual manera el cambio en los filtros de ventilación se lo debe realizar periódicamente cada 6 meses.

Se recomienda el uso de equipo protección personal (EPI) necesario para el proceso de pintura, el cual debe incluir mascarilla, gafas y traje de protección debido a que se trabaja con polvos tóxicos que pueden afectar la integridad y salud de las personas involucradas en el proceso.

El personal destinado para el uso del horno de curado debe estar altamente capacitado en todos los aspectos técnicos, de control y de seguridad operacional, este personal podrá manipular el tablero de control para definir la temperatura necesaria para el curado, además es responsabilidad de todos proteger el interior del tablero de control, para evitar que se ocasione problemas en el sistema.

La calidad de curado de pintura electroestática depende directamente de la calidad de pintura que se aplica a las piezas, se recomienda el uso de pinturas de buena calidad y certificación, así evitar problemas de adherencia y mala calidad del acabado. Es necesario indicar que el fabricante de la pintura establece el tiempo y temperatura de curado de acuerdo al color a pintar, esto para evitar normalizar estas variables.

Para obtener una mejor calidad y adherencia de la pintura es necesario incluir un proceso de limpieza adicional previo al pintado, con el objetivo de descartar impurezas y grasa que puede estar en las piezas. Existen diferentes métodos y productos de limpieza, siendo el más común la utilización de disolvente, también el uso productos químicos como el fosfato.

- Bibliografía

Camsco Electric. (2023). *Temporizador de Multi-rango, AH3-A-B-C-D-E*. Obtenido de <https://www.camsco.com.tw/spa/timer/multi-range-timer-ah3-a-b-c-d-e.html#group>

ABGO. (2020). *Riello 20132573 R40 Photocell*. Obtenido de <https://www.abgo.co.uk/oil/oil-burner-spare/photocells/riello-20132573>

Agudelo, D. C. (2022). *Inpra Latina - La Zona de Pinturas*. Obtenido de Pinturas en polvo: ventajas y desventajas: www.zonadepinturas.com. <https://www.zonadepinturas.com/202101177960/articulos/pinturas-y-recubrimientos/pinturas-en-polvo-ventajas-y-desventajas.html>

Arnum. (2005). *PINTURA ARNUM*. Obtenido de http://www.arnum-as.com.ar/index_archivos/pinturas.htm

Baño Arias , J. G., & Sosa Arce, L. E. (2021). *Diseño de un sistema de combustible dual diésel-bunker, para una red de alimentación de combustible a un grupo de calderas con capac.*

Camacho, G. &, & Hinojosa, B. (2010). *Diseño, construcción y automatización de un horno para el curado de pintura electrostática para el centro de producción E.S.P.E sede Latacunga*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/691/1/T-ESPE-027>

Cantos, , J., & Ochoa, , J. (2019). *Diseño, construcción e implementación de un horno de curado para pintura electrostática*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17619>

Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2020). *Transferencia de calor y masa: fundamentos y aplicaciones*.

CF500, B. (2016). *CF800 Replacement parts*. Obtenido de <https://manualsdump.com/en/manuals/beckett-cf500-cf800/45628/15>

Engineering, H. (2023). *Duct Size Calculator*. Obtenido de <https://www.adicotengineering.com/duct-size-calculator>

Estrella Cevallos, R. S., & Muso Amores, D. J. (2011). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN HORNO PARA PINTURA ELECTROSTÁTICA A BASE DE AIRE CALIENTE*.

Francescutti, I. J. (2007). *Pinturas en polvo*. Obtenido de <https://docplayer.es/8414320-Pinturas-en-polvo-25-de-octubre-de-2007-disertante-ing-jorge-omar-francescutti-ofrancescutti-hotmail-com.html>

Ingeniería, A. d. (2019). *Ingeniería Industrial y Automatización*. Obtenido de http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/plcautomatizacion/

Marks, L. S. (1984). *Manual del ingeniero mecánico de Marks. Hispano-Americano* (Vol. 3). McGRAW-HILL. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/490130367/Manual-del-ingeniero-mecanico-l-marks-volumen-3-pdf>

Martín, E., A. H. (2008). *QUEMADORES*. Obtenido de <https://temariosformativosprofesionales.files.wordpress.com/2013/01/quemadores-de-gas.pdf>

Powdertronic. (2006). *PowderTronic*. Obtenido de <https://powdertronic.com/hornos-de-curado-para-pintura-electrostatica/>

Recisa. (2022). *RIELLO 40F10 - Recisa*. Obtenido de <https://recisa.com.mx/producto/quemadores-industriales-riello-40f10/>

Reed, R. J. (2001). *North American Combustion Handbook* (Vol. 3). North American Mfg. Co.

RIELLO. (2016). *Quemadores de gasóleo*. Obtenido de RIELLO 40 F10: <https://recisa.com.mx/wp-content/uploads/docs/sistemas-combustion/quemadores-industriales/quemadores-paquete/riello-40f10.pdf>

Sanders, L. G. (2020). *Pintura electrostática o pintura en polvo, usos y precauciones*. Obtenido de <https://www.pintura-para.com/pintura-electrostatica/>

Saro, R. (2012). *Thermal Efficiency Limits for Furnaces and Other Combustion Systems*. Obtenido de <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/1.28239?journalCode=jtht>.

Schneider Electric. (2022). *Contactador LC1D12BD*. Obtenido de https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Instruction+sheet&p_File_Name=137830401A55-14.pdf&p_Doc_Ref=1378304_01A55

Schneider Electric. (2023). *EZ9F56210*. Obtenido de Interruptor termomagnético Easy9 2P 10A 10kA curva C : <https://www.se.com/co/es/product/EZ9F56210/interruptor-termomagn%C3%A9tico-easy9-2p-10a-10ka-curva-c/>

Solerpalau. (2012). *Sistemas de Ventilación*. Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut251/doc1tut251.pdf>

Solerpalau. (2020). *Hojas Técnicas - Circulación de aire por conductos* . Obtenido de <https://www.solerpalau.com/es-es/hojas-tecnicas-circulacion-de-aire-por-conductos/#:~:text=El%20fluir%20del%20aire%20por,esta%20parte%20de%20energ%C3%ADa%20consumida.>

ST-48, P. C. (2014). *Microprocessor PID Temperature Controller*. Obtenido de <http://www.hunjoen.com/products-1.html>

STORKTRONIC. (2016). *Controlador de Temperatura ST48*. Obtenido de https://www.stoerk-tronic.com/fileadmin/erp/dokumente/datenblaetter/en/900305_003.pdf

Tecnifan. (2022). *TDA - L*. Obtenido de <https://tecnifan.es/es/doble-aspiracion/doble-aspiracion-tda-l/>

Verton., P. d.-I. (2022). *Industrias Verton*. Obtenido de <https://verton.ec/paneles-poliuretano/>

WESCO. (2020). *PINTURAS WESCO*. Obtenido de https://static1.squarespace.com/static/605230986f1c9c1648f1bc0a/t/60880c33c668165034ef9817/1619528759518/Cat%C3%A1logo+Pintura+en+Polvo_compressed.pdf

WESCO, Duraplast - Pinturas. (2022). *Ficha Técnica WESCO Duraplast*. Obtenido de V:5.03.26/02:
<https://static1.squarespace.com/static/605230986f1c9c1648f1bc0a/t/6088337c62f0a54827e21210/1619538813163/Ficha+T%C3%A9cnica+WESCO+Duraplast.pdf>