

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Tesis previa a la obtención del título de: INGENIEROS ELECTRÓNICOS

TEMA:

**CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO AUTOMATIZADO PARA EL CURADO DE
PINTURA ELECTROSTÁTICA, DISEÑADO CON LÓGICA DIFUSA
UTILIZANDO RESISTENCIAS ELÉCTRICAS Y CONVECCIÓN FORZADA,
IMPLEMENTADO EN LA EMPRESA TRIDIMENSIONAL.**

AUTOR:

SEBASTIÁN ALEJANDRO BASTIDAS BARRAGÁN

DIRECTOR:

VÍCTOR HUGO NARVÁEZ VEGA

Quito, mayo de 2015

**DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DE USO DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaro que los conceptos, análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, mayo de 2015

Sebastián Alejandro Bastidas Barragán

CI: 1719133405

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi madre Matilde Barragán por darme la alas para emprender el vuelo, enfrentarme a la vida y perseguir mis sueños; a mi hermano Francisco Bastidas por ser uno de los pilares fundamentales de mi vida, por cuidar de siempre de mí, ser el mejor ejemplo posible, generoso, amable, humilde, triunfador, líder, un excelente profesional, además de darme su apoyo y amor incondicional, motivación para seguir adelante y cumplir cada uno de mis sueños.

Mi familia es el motor de mi vida, algunos me cuidan desde el cielo y todo este esfuerzo es para ellos también.

Además, a todos mis compañeros que hicieron de la universidad una experiencia increíble día a día.

Sebastián Alejandro Bastidas Barragán

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por contar con excelentes docentes que incentivan a la mejora continua, así como a la autoeducación que impulsan el fortalecimiento académico además de crear curiosidad en el estudiante, motor principal para desarrollar nuevas ideas y gracias a los conocimientos impartidos en clase poder materializarlos.

Al Ing. Víctor Narváez, como tutor de trabajo de titulación quien ha encaminado el proyecto de la mejor manera posible con sus consejos, paciencia, sugerencias y apoyo incondicional, ha superado todas las expectativas.

Sebastián Alejandro Bastidas Barragán

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1.....	2
PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO	2
1.1. Problema a resolver	2
1.2. Hipótesis	3
1.3. Justificación.....	3
1.4. Delimitación	3
1.4.1. Delimitación temporal:	3
1.4.2. Delimitación espacial.....	4
1.4.3. Delimitación académica.....	4
1.5. Beneficiarios de la propuesta de intervención.....	4
1.6. Objetivos	4
1.6.1. Objetivo general.....	4
1.6.2. Objetivos específicos	5
CAPÍTULO 2.....	6
FUNDAMENTO TEÓRICO.....	6
2.1. Pintura Electrostática.....	6
2.1.1. Composición de la pintura en polvo	7
2.1.2. Tipos de pintura en polvo	8
2.1.2.1. Poliésteres	8
2.1.2.2. Epóxica	8
2.1.2.3. Híbridos.....	8
2.1.3. Sistema de aplicación de pintura electrostática	9
2.2. Hornos de curado.....	9

2.3.	Resistencias eléctricas	10
2.4.	Convección forzada	12
2.5.	Lógica difusa	14
2.6.	Controlador lógico programable	15
2.6.1.	Signal boards.....	15
2.7.	Ventilador	16
2.8.	Sensores de temperatura	17
CAPITULO 3.....		19
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HORNO PARA EL CURADO DE PINTURA ELECTROSTÁTICA		19
3.1.	Selección de materiales para el horno	19
3.1.1.	Capa interna:	20
3.1.2.	Capa de aislamiento:	21
3.1.3.	Capa externa:	22
3.2.	Sistema de ventilación.....	22
3.2.1.	Dimensionamiento del ventilador	23
3.3.	Estructura final de horno	24
3.4.	Análisis térmico del horno	25
3.4.1.	Calor necesario por la carga y el horno	25
3.4.2.	Coeficiente de transferencia de calor por convección	27
3.4.3.	Número de Biot.....	28
3.4.4.	Temperatura del aire al interior del horno	29
3.4.5.	Calor a impartir al aire dentro del horno.....	29
3.4.6.	Cálculo de pérdidas de energía en las paredes	30
3.4.6.1.	Resistencia en las paredes internas del horno	32

3.4.6.2.	Resistencia del aislante térmico	32
3.4.6.3.	Resistencia en las paredes externas del horno	33
3.4.6.4.	Resistencia térmica debido a la convección.....	33
3.4.6.5.	Coefficiente de convección al exterior del horno.....	33
3.4.6.6.	Resistencia térmica debido a la radiación	35
3.4.6.7.	Coefficiente de radiación del exterior del horno.....	35
3.4.6.8.	Resistencia total del sistema	36
3.4.6.9.	Coefficiente global de transferencia de calor	36
3.4.6.10.	Calor perdido por las paredes del horno	36
3.4.7.	Cálculo de pérdidas de energía en el techo	37
3.4.7.1.	Resistencia en la placa interna del techo del horno	38
3.4.7.2.	Resistencia térmica del aislante térmico	39
3.4.7.3.	Resistencia térmica en la placa externa del techo del horno.....	39
3.4.7.4.	Resistencia térmica debido a la convección.....	39
3.4.7.5.	Resistencia térmica debido a la radiación	40
3.4.7.6.	Resistencia total del sistema	40
3.4.7.7.	Coefficiente global de transferencia de calor en el techo del horno	40
3.4.7.8.	Calor perdido por el techo del horno	41
3.4.8.	Potencia total requerida por el horno	41
3.4.9.	Resumen de cargas.....	42
3.5.	Diseño eléctrico	43
3.5.1.	Diagrama de conexión eléctrica del horno.....	44
3.6.	Diseño del sistema de automatización.....	45
3.6.1.	Variables de control	46
3.6.2.	Controlador Simatic S7-1200	47

3.6.3.	Sensor de temperatura.....	49
3.6.4.	Resistencias eléctricas tubulares	51
3.6.5.	Diseño de la lógica difusa.....	52
3.6.6.	Análisis de datos obtenidos del diseño de la lógica difusa	56
3.6.7.	Diseño de la lógica de programación.....	63
	CAPITULO 4.....	65
	PRUEBAS Y RESULTADOS	65
4.1.	Parámetros de funcionamiento	65
4.2.	Tabulación de datos.....	67
4.3.	Presupuesto.....	76
	CONCLUSIONES.....	78
	RECOMENDACIONES.....	80
	LISTA DE REFERENCIA.....	81
	ANEXOS	82

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Composición de la pintura electrostática	7
<i>Figura 2.</i> Sistema de aplicación de pintura electrostática.....	9
<i>Figura 3.</i> Tipos de resistencias tubulares lisas.....	11
<i>Figura 4.</i> Flujo turbulento.....	12
<i>Figura 5.</i> Flujo laminar	12
<i>Figura 6.</i> Flujo de aire al interior del horno.....	13
<i>Figura 7.</i> Estructura de un controlador difuso	14
<i>Figura 8.</i> Controlador SIMATIC S7 – 1200.....	15
<i>Figura 9.</i> Signal board para lectura del sensor de temperatura RTD PT100.....	16
<i>Figura 10.</i> Funcionamiento de un ventilador.....	16
<i>Figura 11.</i> Termistor	17
<i>Figura 12.</i> Termopares.....	18
<i>Figura 13.</i> RTD.....	18
<i>Figura 14.</i> Diseño de la cámara del horno en Solidworks	20
<i>Figura 15.</i> Lana de vidrio	21
<i>Figura 16.</i> Sistema de ventilación del horno diseñado en Solidworks	22
<i>Figura 17.</i> Ventilador centrífugo utilizado en el horno	23
<i>Figura 18.</i> Estructura final del horno diseñada en Solidworks.....	24
<i>Figura 19.</i> Dimensiones de las paredes del horno	31
<i>Figura 20.</i> Analogía eléctrica de las paredes del horno.....	32
<i>Figura 21.</i> Dimensiones del techo del horno	37
<i>Figura 22.</i> Analogía eléctrica del techo del horno.....	38
<i>Figura 23.</i> Resumen de cargas.....	42
<i>Figura 24.</i> Conexión de las resistencias de calentamiento	43
<i>Figura 25.</i> Diagrama de conexión eléctrica del horno.....	44
<i>Figura 26.</i> Diagrama de bloques del sistema de automatización.....	45
<i>Figura 27.</i> Diagrama P&ID del horno de curado	45
<i>Figura 28.</i> Variables de control	46
<i>Figura 29.</i> Linealidad de los sensores de temperatura.....	49
<i>Figura 30.</i> Sensor de temperatura RTD - PT100.....	50

<i>Figura 31.</i> Resistencia eléctrica tubular lisa	51
<i>Figura 32.</i> Entrada Difusa 1 - Acabado del producto	52
<i>Figura 33.</i> Entrada difusa 2 - Tipo de pintura	53
<i>Figura 34.</i> Salida difusa	53
<i>Figura 35.</i> Estructura de una regla lógica	54
<i>Figura 36.</i> Reglas lógicas para el control del horno	54
<i>Figura 37.</i> Memoria Asociativa Fuzzy	55
<i>Figura 38.</i> Salida difusa con ayuda del Software Labview	56
<i>Figura 39.</i> Simulación del sistema difuso en el software LabView	58
<i>Figura 40.</i> Lectura en tiempo real de la entrada del tipo de acabado en el PLC S7-1200	59
<i>Figura 41.</i> Lectura en tiempo real de la entrada del tipo de pintura en el PLC S7-1200	60
<i>Figura 42.</i> Lectura de la salida difusa obtenido en tiempo real en el PLC S7-1200	60
<i>Figura 43.</i> Simulación del sistema difuso en el software LabView	61
<i>Figura 44.</i> Lectura en tiempo real de la entrada del tipo de acabado en el PLC S7-1200	61
<i>Figura 45.</i> Lectura en tiempo real de la entrada del tipo de pintura en el PLC S7-1200	62
<i>Figura 46.</i> Lectura de la salida difusa obtenido en tiempo real en el PLC S7-1200	62
<i>Figura 47.</i> Diagrama de la lógica de programación	63
<i>Figura 48.</i> Diagrama de parámetros iniciales	64
<i>Figura 49.</i> Curva de curado Epoxi – Mate	68
<i>Figura 50.</i> Curva de curado Epoxi – Semibrillante	69
<i>Figura 51.</i> Curva de curado Epoxi – Brillante.....	70
<i>Figura 52.</i> Curva de curado Poliéster – Mate	71
<i>Figura 53.</i> Curva de curado Poliéster – Semibrillante.....	72
<i>Figura 54.</i> Curva de curado Poliéster – Brillante	73
<i>Figura 55.</i> Curva de curado Híbrida – Mate.....	74
<i>Figura 56.</i> Curva de curado Híbrida – Semibrillante	75
<i>Figura 57.</i> Curva de curado Híbrida – Brillante	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Resumen de cargas presentes en el horno</i>	42
Tabla 2. <i>Características del PLC Simatic S7-1200</i>	47
Tabla 3. <i>Descripción de las entradas del PLC SIMATIC S7 -1200</i>	48
Tabla 4. <i>Descripción de las salidas del PLC SIMATIC S7 – 1200</i>	48
Tabla 5. <i>Error de medición entre el software LabView y los valores obtenidos en el PLC</i>	57
Tabla 6. <i>Parámetros de funcionamiento</i>	65
Tabla 7. <i>Medición de temperatura en el horno con pintura epoxi y acabado mate</i>	67
Tabla 8. <i>Medición de temperatura en el horno con pintura epoxi y acabado semibrillante</i>	68
Tabla 9. <i>Medición de temperatura en el horno con pintura epoxi y acabado brillante</i> ..	69
Tabla 10. <i>Medición de temperatura en el horno con pintura poliéster y acabado mate</i> .	70
Tabla 11. <i>Medición de temperatura en el horno con pintura poliéster y acabado semibrillante</i>	71
Tabla 12. <i>Medición de temperatura en el horno con pintura poliéster y acabado brillante</i>	72
Tabla 13. <i>Medición de temperatura en el horno con pintura híbrida y acabado mate</i> ...	73
Tabla 14. <i>Medición de temperatura en el horno con pintura híbrida y acabado semibrillante</i>	74
Tabla 15. <i>Medición de temperatura en el horno con pintura híbrida y acabado brillante</i>	75
Tabla 16. <i>Presupuesto para la construcción del horno de curado</i>	76

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo del volumen de la cámara interna del horno	23
Ecuación 2. Cantidad de metros cúbicos por segundo	23
Ecuación 3. Cantidad de calor necesaria para la carga	25
Ecuación 4. Volumen de las paredes del horno	26
Ecuación 5. Masa total de las paredes del horno	26
Ecuación 6. Cantidad de calor necesario para las paredes	26
Ecuación 7. Volumen del piso y techo del horno.....	26
Ecuación 8. Masa total del piso y techo del horno.....	26
Ecuación 9. Cantidad de calor necesario para el piso y techo del horno	27
Ecuación 10. Número de Reynolds para el aire caliente dentro de la cabina del horno ..	27
Ecuación 11. Ecuación de Dittus-Boelter para convección forzada al interior de un tubo	28
Ecuación 12. Coeficiente de transferencia de calor por convección.....	28
Ecuación 13. Longitud característica de la carga máxima dentro del horno	28
Ecuación 14. Número de Biot	28
Ecuación 15. Temperatura promedio del aire	29
Ecuación 16. Factor de corrección de altura	30
Ecuación 17. Volumen de la cabina del horno.....	30
Ecuación 18. Masa del aire al interior del horno	30
Ecuación 19. Cantidad de calor necesaria para el aire al interior del horno	30
Ecuación 20. Resistencia térmica de las paredes internas del horno	32
Ecuación 21. Resistencia térmica del aislante térmico	33
Ecuación 22. Resistencia térmica de las paredes externas del horno.....	33
Ecuación 23. Resistencia térmica debido a la convección	33
Ecuación 24. Número de Rayleigh.....	34
Ecuación 25. Número de Nusselt	34
Ecuación 26. Coeficiente de transferencia de calor externo del horno	35
Ecuación 27. Resistencia térmica debido a la radiación	35
Ecuación 28. Coeficiente de transferencia de calor por radiación	35
Ecuación 29. Resistencia equivalente de radiación y convección	36

Ecuación 30. Resistencia térmica total de las paredes del horno	36
Ecuación 31. Coeficiente global de transferencia de calor	36
Ecuación 32. Calor perdido de las paredes del horno	36
Ecuación 33. Resistencia térmica de la parte interna del techo del horno	38
Ecuación 34. Resistencia térmica del aislante térmico del techo.....	39
Ecuación 35. Resistencia térmica de las paredes externas del techo del horno	39
Ecuación 36. Resistencia térmica debido a la convección en el techo del horno	39
Ecuación 37. Resistencia térmica debido a la radiación en el techo del horno.....	40
Ecuación 38. Resistencia equivalente entre la radiación y convección en el piso y techo	40
Ecuación 39. Resistencia térmica total del piso y techo	40
Ecuación 40. Coeficiente global de transferencia de calor en el techo del horno.....	40
Ecuación 41. Calor perdido en el techo del horno	41
Ecuación 42. Flujo de calor a impartir al horno y la carga	41
Ecuación 43. Flujo de calor entre e horno y el ambiente	41
Ecuación 44. Potencia total requerida por el sistema.....	41
Ecuación 45. Potencia de línea.....	44

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Hoja técnica del PLC SIMATIC S7 – 1200	82
Anexo 2. Hoja técnica de la Signal board	83
Anexo 3. Hoja técnica del sensor de temperatura RTD PT100	85
Anexo 4. Operación del horno	86
Anexo 5. Planos de construcción del horno	87
Anexo 6. Tabla de variables del PLC Simatic S7 - 1200.....	92
Anexo 7. Lógica de programación en el PLC Simatic S7 - 1200	93
Anexo 8. Construcción del horno.....	103
Anexo 9. Tablero de control.....	106
Anexo 10. Panel de control	107
Anexo 11. Horno para el curado de pintura electrostática	108
Anexo 12. Diagrama eléctrico del horno de curado.....	109
Anexo 13. Facturas y cotizaciones.....	110

RESUMEN

En mayo del 2014 la empresa TRIDIMENSIONAL plantea la construcción de un horno automatizado para el curado de pintura electrostática.

La estructura del horno consta de tres capas, la cámara interna del horno está formada por acero inoxidable AISI 304, la sección destinada al aislamiento térmico está compuesta de lana de vidrio y la parte externa del horno está constituida por acero inoxidable AISI 316.

Para el calentamiento del horno se utiliza resistencias eléctricas de níquel – cromo, para la medición de la temperatura se emplea un sensor RTD PT100, además el sistema contiene ductos de circulación de aire hacia el interior del horno. Para controlar el sistema se programa un controlador lógico programable PLC SIMATIC S7 – 1200.

El método de control se efectúa mediante lógica difusa; por medio de la selección del tipo de pintura utilizada en la pieza a ser curada, así como el tipo de acabado deseado de la misma, se establecen temperaturas y tiempos según información del fabricante para lograr el acabado deseado.

La implementación del horno pretende mejorar la capacidad productiva de la empresa, minimizar los efectos sobre el medio ambiente y priorizar la seguridad laboral en sus operaciones.

ABSTRACT

In May 2014 the company proposes the construction DIMENSIONAL an automated oven for electrostatic paint curing.

The furnace structure comprises three layers, the inner furnace chamber is comprised of stainless steel AISI 304, the section to thermal insulation is made of glass wool and the outside of the furnace consists of stainless steel AISI 316.

For electrical resistance heating furnace used nickel - chrome, for measuring an RTD PT100 temperature sensor and the system contains air circulation duct into the furnace is used. To control the system programming a programmable logic controller PLC SIMATIC S7-1200.

Develops fuzzy logic programming for selecting various paint finishes generated in the process of electrostatic paint curing: matt and shiny. This is achieved by selecting the type of paint, time and corresponding temperature value.

The implementation of the oven is intended to improve the productive capacity of the enterprise, minimize effects on the environment and prioritize job security in their operations.

INTRODUCCIÓN

La construcción y operación del horno tiene como finalidad entregar piezas metálicas curadas con pintura electrostática.

Los pasos a seguir para el desarrollo de este proyecto son los siguientes:

En el primer capítulo, se plantea la necesidad de construir un horno automatizado para el proceso de curado con pintura electrostática, ya que la empresa Tridimensional no lo tiene y demora el tiempo de entrega de sus productos.

En el segundo capítulo, se expone el fundamento teórico del proyecto, conceptos relacionados a la transferencia de calor, automatización con PLCs, tipos y características de las pinturas electrostáticas, fundamentos de lógica difusa, cálculo y dimensionamiento de resistencias eléctricas, actuadores y dispositivos de protección.

En el tercer capítulo, se detalla el diseño y la construcción del horno basado en cálculos tanto para la parte mecánica así como para la parte eléctrica del horno, se muestran planos, circuitos, diagramas de funcionamiento del sistema de control.

En el cuarto capítulo, se presenta los resultados obtenidos de las pruebas de funcionamiento además se muestra un resumen de los costos presentes para la fabricación del horno.

En la última parte se exponen conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

En este capítulo se define el problema a resolver, hipótesis, justificación y se definen los objetivos a cumplir con la realización del horno de curado de pintura electrostática.

1.1. Problema a resolver

En la actualidad existen procesos industriales que se realizan de manera artesanal que disminuyen la producción, generan riesgos en la vida de los trabajadores al no prestar garantías de trabajo además los productos generados no poseen una calidad homogénea; los niveles de producción se ven afectados debido que actualmente la empresa debe encomendar a pequeños talleres los trabajos relacionados con el curado de la pintura, los mismo que no logran entregar a tiempo el trabajo delegado en consecuencia se generan pérdidas económicas.

Los talleres pequeños poseen sistemas básicos que no prestan condiciones de seguridad para los operarios así como la posibilidad de obtener una calidad constante en sus trabajos asimismo su capacidad productiva se ve afectada.

Constantemente la empresa se encuentra sometida a estas circunstancias; el problema principal radica en la entrega de piezas metálicas pintadas que se utilizan tanto para el ensamblaje de muebles como para la estructura de los mismos, dichas piezas muchas veces no poseen una buena calidad, llegan con fallas o la calidad no es homogénea lo que ocasiona que la imagen de la empresa se vea afectada, limitando la capacidad de adquirir nuevos clientes.

Por las razones antes mencionadas se realizará la construcción de un horno automatizado para el curado de pintura utilizando resistencias eléctricas y convección forzada, de esta manera la empresa contará con su propio horno lo que mejorará su producción y generará productos de excelente calidad.

1.2. Hipótesis

La construcción de un horno automatizado permitirá tener el control del proceso lo que mejorará los tiempos de producción, lo que aumentará la capacidad productiva de la empresa y reducirá la contaminación del medio ambiente puesto que el horno funciona con energía eléctrica.

1.3. Justificación

La empresa TRIDIMENSIONAL se encarga de diseñar espacios ya sean estos interiores, exteriores, de hogar u oficinas. Esta actividad conlleva la fabricación de muebles.

En este momento la empresa depende de otras empresas para la elaboración de ciertos procesos, motivo por el cual muchos trabajos se retrasan, los costos son elevados y las ganancias son mínimas. Por lo que la empresa ve la necesidad de realizar estos procesos de forma directa.

El presente proyecto tiene como fin el diseño y la construcción de un horno automatizado para el curado de pintura electrostática de manera que la empresa realice los trabajos en sus mismas instalaciones disminuyendo tiempos de fabricación, mejorando la capacidad de producir al mismo tiempo manteniendo una excelente calidad en sus productos para situar a la empresa entre las mejores de la ciudad y en poco tiempo a nivel nacional.

1.4. Delimitación

1.4.1. Delimitación temporal:

El presente proyecto tomará como punto inicial el mes de septiembre de dos mil catorce y como punto final el mes de marzo del dos mil quince teniendo una duración de siete meses para cumplir los objetivos planteados.

1.4.2. Delimitación espacial

Este proyecto se desarrollará en la empresa TRIDIMENSIONAL que se encuentra ubicada en el sector Sur de la ciudad de Quito en el sector de Guamaní en el barrio Los Pinos de Guamaní Joaquín Sánchez lote 2 OE4-139.

1.4.3. Delimitación académica

Para el desarrollo del proyecto se puso en práctica los conocimientos adquiridos durante el periodo de formación como Ingeniero Electrónico con mención en Sistemas Industriales; dando énfasis a temas relacionados con Automatización Industrial, Instrumentación, Sensores y Transductores e Informática Industrial.

1.5. Beneficiarios de la propuesta de intervención

El principal beneficiario es la empresa debido a que con la construcción de este horno evitará encomendar sus trabajos a terceros, esto disminuirá los costos de producción, mejorará los tiempos de entrega así como la calidad será constante lo que generará un sello distintivo de la empresa en el mercado; la utilización de energía eléctrica y la no emisión gases tóxicos evita la contaminación del medio ambiente además al tener el control automatizado se mejora la eficiencia del horno y la seguridad del personal.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Construir un horno para el curado de pintura electrostática, automatizado con lógica difusa utilizando resistencias eléctricas y convección forzada, para implementarle en la empresa TRIDIMENSIONAL.

1.6.2. Objetivos específicos

- Analizar el proceso de curado de piezas metálicas mediante la utilización de pintura electrostática e identificar las características y ventajas que proporciona su uso.
- Diseñar e implementar mecánicamente un horno para el curado de pintura electrostática.
- Diseñar e implementar el control difuso de temperatura para el horno de curado de pintura electrostática con el PLC Simatic.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTO TEÓRICO

En este capítulo se desarrollan los temas necesarios, así como procesos, conceptos, además de las características de los dispositivos electrónicos que forman parte del proyecto.

2.1. Pintura Electroestática

Actualmente se utilizan diferentes productos químicos para cubrir objetos metálicos con el fin de preservar, evitar la corrosión y mejorar la presentación del producto.

El proceso ha desarrollarse en este proyecto es el que se realiza con pintura electrostática o pintura en polvo; este proceso consiste en inducir voltajes relativamente altos a partículas de de pintura (pintura en polvo) que mediante una fuerza electrostática se adhieren al producto que se encuentra conectado a tierra.

Los productos recubiertos con este tipo de pintura poseen mejores características que los hacen más durables y resistentes a los impactos ambientales.

El uso de la pintura electrostática posee varias ventajas entre ella:

- Ausencia de compuestos orgánicos volátiles
- Bajo nivel de generación de residuos
- No necesitan solventes para su mezcla
- No son inflamables
- Reciclaje de polvo, se genera alrededor del 5% de pérdida en el proceso
- Riesgos para la salud mínimos
- Proceso independiente de la humedad y temperatura del aire
- Reducción del espesor de capa de pintura con preservación íntegra del producto

2.1.1. Composición de la pintura en polvo

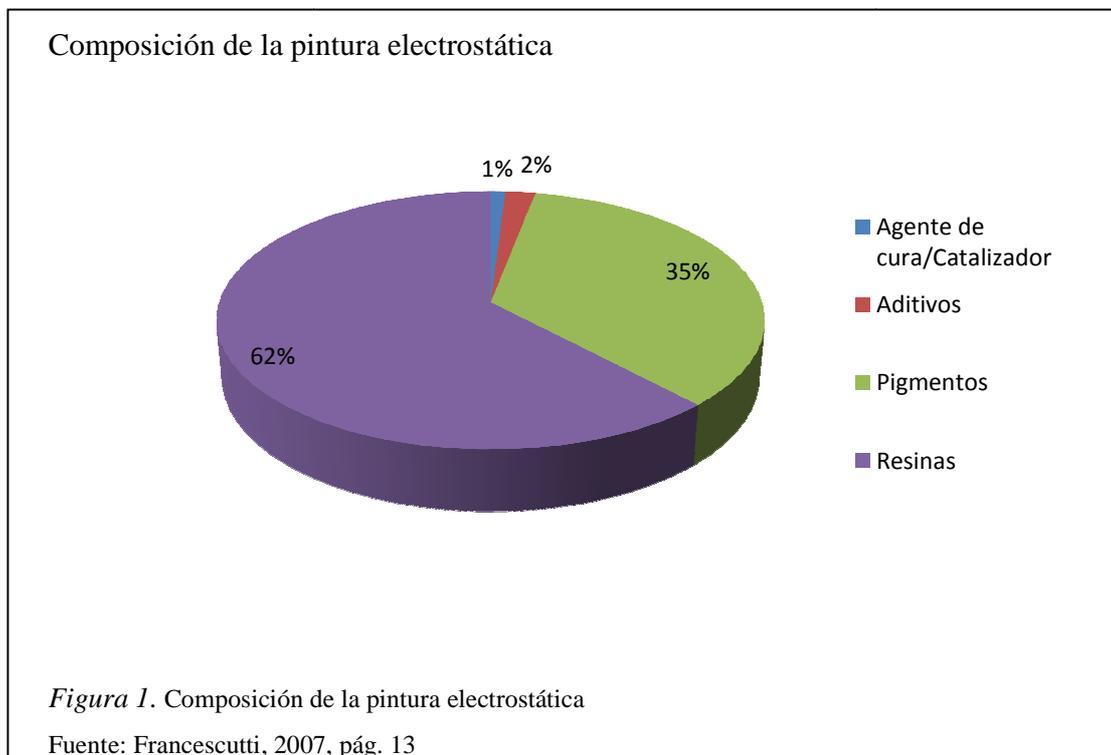
La pintura electrostática está compuesta de diferentes materiales los mismos que se detallan en la Figura 1.

Resinas: materiales sólidos provenientes de fuentes vegetales que delimitan el rendimiento de la pintura.

Pigmentos: definen el poder de cubrimiento, los colores, el acabado, la textura y el brillo de las pinturas.

Agentes de cura: reaccionan con la resina para formar una película continua y protectora.

Aditivos: permiten optimizar el desempeño y los efectos de terminado de la pintura.



2.1.2. Tipos de pintura en polvo

Existen diferentes tipos de pintura electrostática a continuación se mencionan los tipos existentes, así como sus principales características y usos.

2.1.2.1. Poliésteres

Pintura recomendada para interiores y exteriores debido a su alta resistencia ante diferentes condiciones climáticas además de una excelente adherencia sobre superficies metálicas, permitiendo el posterior maquinado de la pieza.

2.1.2.2. Epóxica

Son fabricadas con resina epóxica de ahí su nombre, lo cual le proporciona una alta resistencia contra la corrosión y agentes químicos sacrificando un poco el acabado de la pieza, no se recomienda su uso para exteriores, superficies en contacto con la intemperie o superficies expuestas a rayos ultra violeta.

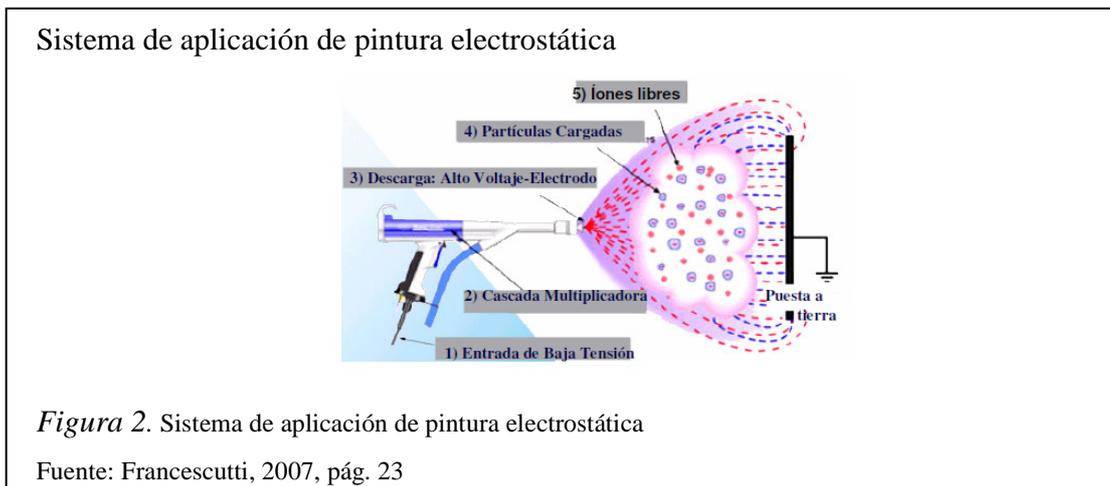
2.1.2.3. Híbridos

Combinan las ventajas de las resinas tipo poliéster con las epóxicas; hay diferentes tipos en las cuales varia el porcentaje de cada una por lo que pueden ser 50/50, 60/40 y 70/30.

Su utilización esta principalmente orientada al ámbito decorativo así como interiores además de presentar una excelente adherencia sobre superficies metálicas; no se recomienda su uso en exteriores debido a que pueden provocar cambios en la coloración.

2.1.3. Sistema de aplicación de pintura electrostática

El principio de funcionamiento es el de un imán, en el cual dos cargas opuestas se atraen; la pintura es aplicada por equipos especializados los cuales se encargan de transportar la pintura por mangueras a través de un sistema de vacío creado por aire comprimido a alta velocidad, hasta la pistola de aplicación. Estas pistolas de aplicación cargan eléctricamente la pintura con voltajes aproximados a los 90.000V y bajo amperaje, eliminando el peligro de un choque eléctrico; este proceso carga negativamente a las partículas de pintura, la pieza a ser pintada debe estar conectada a tierra con el fin de cargare positivamente y así generar la atracción de la pintura, el funcionamiento se detalla en la Figura 2.



2.2. Hornos de curado

Un horno es un dispositivo que se encarga de transmitir el calor a diferentes productos que se encuentran en su interior por encima de la temperatura ambiente; el objetivo del calentamiento puede tener varias finalidades como por ejemplo: fundir, ablandar para una operación posterior así como tratamientos térmicos de materiales formados por: aluminio, acero, aleaciones metálicas, cerámica entre los principales o más comunes.

La energía calorífica requerida para el calentamiento de hornos puede provenir de gases calientes producidos por la quema de combustibles ya sean estos sólidos, líquidos o gaseosos, otra forma de generar energía es mediante la utilización de electricidad en varias formas como por ejemplo: arco voltaico, inducción electromagnética, alta frecuencia o microondas, resistencias eléctricas entre las más usadas.

Para este proyecto se tomará únicamente en cuenta los hornos de baja temperatura (inferior a 593 °C) ya que la temperatura de funcionamiento del horno del proyecto aproximadamente es de 200 °C.

Existen varias formas de clasificar a los hornos estas pueden ser: por su fuente de calor, hornos continuos y discontinuos, por el tipo de combustible, de fuego directo o indirecto, por su uso, por la forma de recuperar calor y por su tipo de operación.

Según su tipo de operación se clasifican en:

- **Convección:** en estos hornos se genera el calor mediante quemadores de gas o resistencias eléctricas lo que produce un aumento de temperatura en el aire al interior del horno, además de contar con un sistema de recirculación de aire para generar la convección forzada.
- **Radiación:** los hornos utilizan radiación infrarroja para lograr la temperatura deseada, la presencia de calor radiante es imperceptible y el secreto de su funcionamiento radica en la absorción de radiación por los objetos.

2.3. Resistencias eléctricas

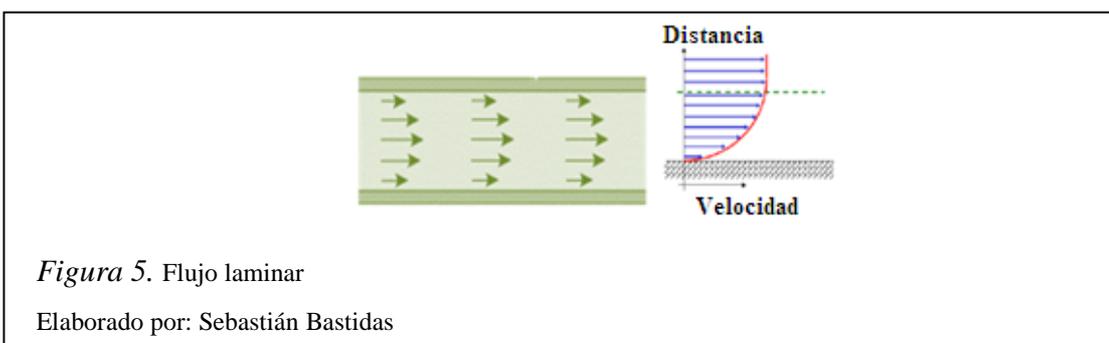
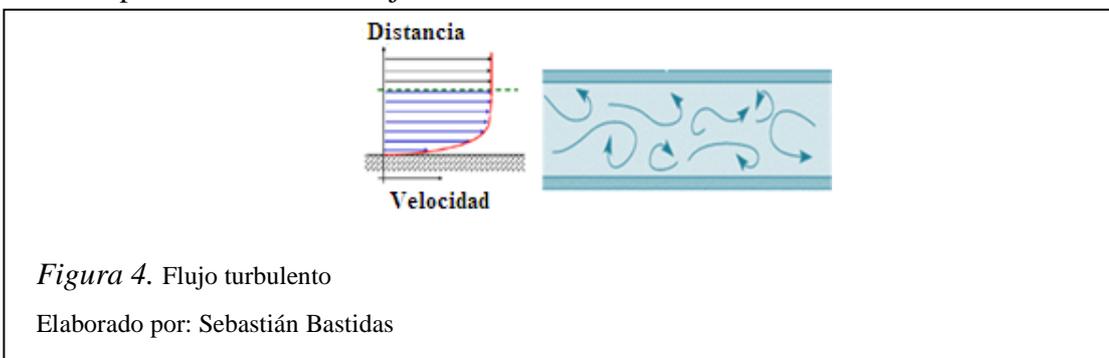
Los hornos eléctricos son conocidos como hornos electro-térmicos, el tipo más sencillo de estos hornos son los de resistencia eléctrica en los cuales se hace circular una corriente eléctrica por un elemento resistivo con la finalidad de producir calor (efecto Joule) y ceder a la carga; el elemento calefactor puede tomar la forma de una bobina de alambre enrollada alrededor de un tubo de material refractario.

2.4. Convección forzada

La transferencia de calor por convección se debe al movimiento del fluido, cuando se utiliza un medio mecánico para realizar el movimiento del fluido se convierte en convección forzada. “El movimiento del fluido se asocia con el hecho de que, en cualquier instante, grandes números de moléculas se mueven de forma colectiva o como agregados. Tal movimiento, en presencia de un gradiente de temperatura, contribuye a la transferencia de calor” (Incropera & DeWitt, 1999, pág. 22).

Cuando un fluido se calienta, se expande, lo que provoca que su densidad disminuya y se eleve, por el contrario cuando un fluido se enfría aumenta su densidad, lo que produce que el fluido en este caso el aire frío descienda.

La transferencia de calor es homogénea cuando se tiene un flujo turbulento debido a que, el fluido turbulento recorrerá una mayor distancia y distribuirá de manera uniforme la temperatura, el fenómeno se observa en la Figura 4, asimismo en la Figura 5, se aprecia el comportamiento de un flujo laminar.



Para que la convección se pueda realizar es necesario que el horno cuente con un motor-ventilador en su interior, ubicado de manera especial ya que funcionará como impulsor-extractor al mismo tiempo, el movimiento del flujo de aire en el interior del horno se observa en la Figura 6.

La cámara del horno debe estar sellada completamente para conservar el continuo movimiento del aire en su interior; la cámara de recirculación es la encargada de que el aire caliente ingrese al interior del horno por los ductos superiores, el efecto de vacío generado por la succión ayuda al constante movimiento del aire caliente manteniendo la temperatura constante y homogénea en el interior del horno optimizando la transferencia de calor a las piezas.

Flujo de aire al interior del horno

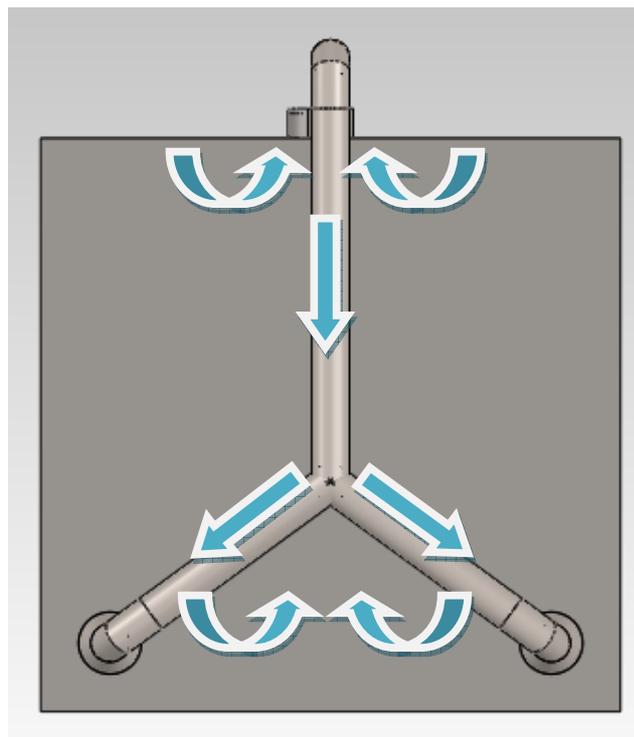


Figura 6. Flujo de aire al interior del horno

Elaborado por: Sebastián Bastidas

2.5. Lógica difusa

La lógica difusa es una rama de la inteligencia artificial que permite analizar información del mundo real en valores que se encuentran entre verdaderos y falsos, involucrando un criterio de incertidumbre manejando conceptos imprecisos, intentando recrear la lógica humana usando mediante el uso reglas de sentido común que representan a cantidades indefinidas.

El trabajador hace juicios en base a su criterio y experiencia personal, dichos juicios se realizan en forma lingüística como por ejemplo: alto, bajo, caliente, frío entre algunos; los sistemas difusos manejan este tipo de variables.

La lógica difusa es un conjunto de principios matemáticos basados en grados de membrecía o pertenencia, cuya función es modelar la información. Este modelado se hace con base en reglas lingüísticas que aproximan una función mediante la relación de entradas y salidas del sistema. Esta lógica presenta rangos de membrecía dentro de un intervalo entre 0 y 1. (Ponce, 2010, pág. 33).

La estructura de un controlador difuso se especifica en la Figura 7.

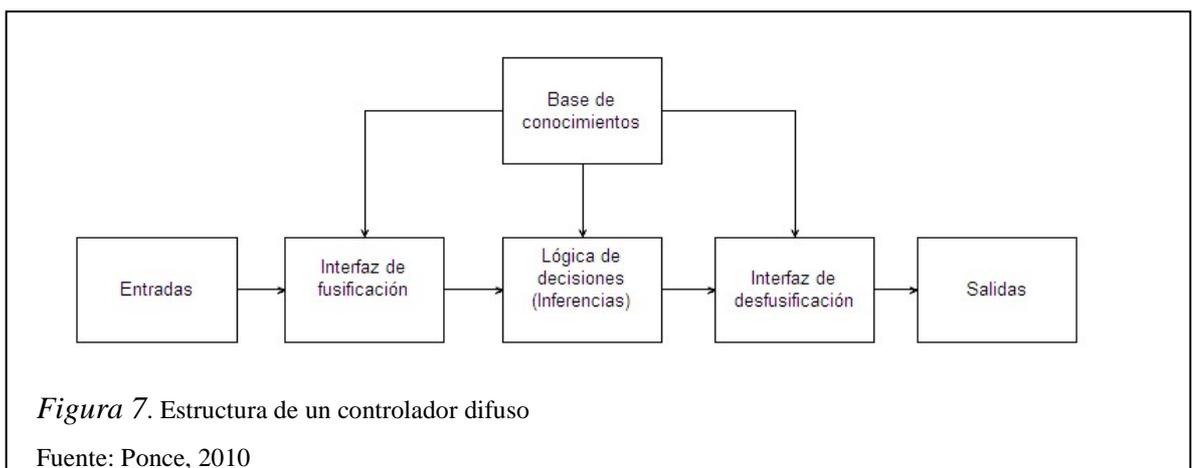


Figura 7. Estructura de un controlador difuso

Fuente: Ponce, 2010

2.6. Controlador lógico programable

El controlador lógico programable (PLC) S7 – 1200 es capaz de controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización; el PLC posee un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida, se observa en la Figura 8 como es físicamente el controlador.

El PLC permiten crear programas en la CPU que contienen la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación tanto en las entradas (sensores, contactos secos entre otros) y salidas (actuadores); puede incluir lógica booleana, instrucciones de conteo y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes.

Controlador lógico programable S7 - 1200



Figura 8. Controlador SIMATIC S7 – 1200

Fuente: Siemens

2.6.1. Signal boards

Una signal board (SB) permite agregar entradas y salidas a la CPU; es posible agregar únicamente una signal board frente a la CPU. Para el proyecto se requiere medir la temperatura, la misma que será detectada por un sensor de temperatura RTD PT100 motivo por el cual la signal board a utilizar es la que admite directamente sensores de este tipo.

Signal board



Figura 9. Signal board para lectura del sensor de temperatura RTD PT100

Fuente: Siemens

El detalle de la signal board se puede apreciar en la Figura 9 y el anexo 2.

2.7. Ventilador

Un ventilador es una máquina rotativa que mueve el aire o un gas. Transmite energía mediante el incremento de presión del aire con la finalidad de obligar al aire a ir por ductos, sistemas de ventilación entre algunas aplicaciones.

Principio de funcionamiento de un ventilador

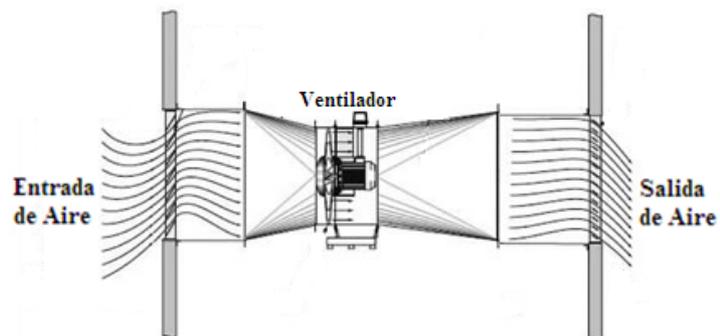


Figura 10. Funcionamiento de un ventilador

Fuente: (Salvador Escoda S.A., 2002)

Según la trayectoria del aire los ventiladores se clasifican en:

- Ventiladores centrífugos
- Ventiladores axiales
- Ventiladores transversales
- Ventiladores helicocentrífugos

En el proyecto se requiere la utilización de un ventilador centrífugo debido a que estos tienen la entrada perpendicular al eje de salida de aire, son apropiados para la extracción así como para la introducción de aire en un recinto.

2.8. Sensores de temperatura

Dispositivos que tiene la capacidad de transformar los cambios de temperatura en cambios en forma de señales eléctricas.

Existen tres tipos de sensores de temperatura:

- **Termistores:** La resistencia del semiconductor varía según la temperatura, su principal problema es que no son lineales.

Sensor de temperatura tipo termistor



Figura 11. Termistor

Fuente: EPCOS

- **Termopar:** Formado por dos metales que permiten transformar el calor en electricidad, el único inconveniente que presentan es su precisión en comparación a los termistores y RTDs.

Sensor de temperatura tipo termopar



Figura 12. Termopares

Fuente: SIASA

- **RTD (Detector de Temperatura Resistivo):** Sensor de temperatura basado en la variación de la resistencia del conductor con la temperatura, son los más comunes al tener mejor linealidad, amplio margen de temperatura y rapidez de respuesta elevada.

Sensor de temperatura tipo RTD



Figura 13. RTD

Fuente: CONATEC

CAPITULO 3

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HORNO PARA EL CURADO DE PINTURA ELECTROSTÁTICA

La empresa TRIDIMENSIONAL se encarga de la elaboración de varios productos que contienen partes metálicas, las cuales deben ser pintadas y secadas; la empresa decidió utilizar pintura electrostática para el recubrimiento de sus piezas por lo que fue necesaria la construcción de un horno de curado.

Las características que debe poseer el horno son las siguientes:

- Temperatura de trabajo alrededor de 200°C.
- Tiempo de trabajo aproximadamente de 20 minutos por proceso.
- Uniformidad de temperatura al interior del horno.
- Control preciso de la temperatura.
- Seguridad del personal.

Las dimensiones que debe tener el horno son las siguientes:

- Largo: 2.30 m
- Ancho: 2.30 m
- Alto: 2.30 m

3.1. Selección de materiales para el horno

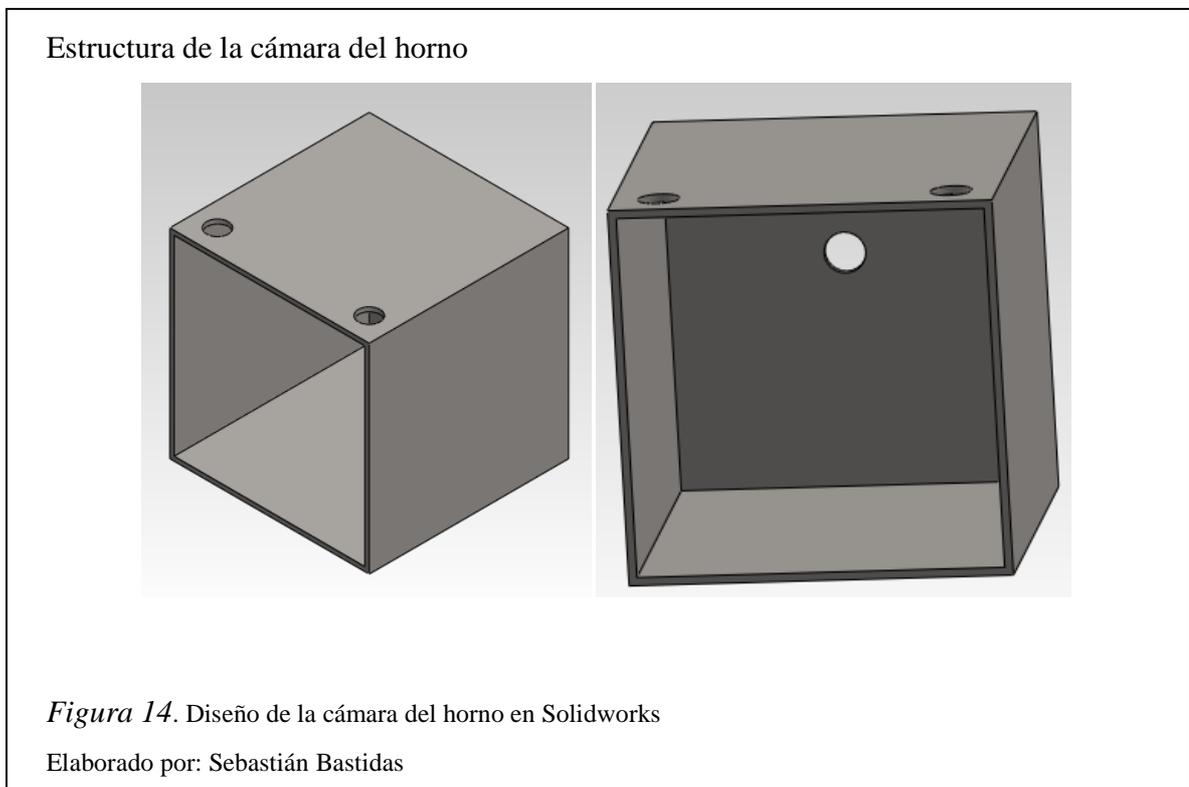
Para poder seleccionar los materiales de manera correcta debemos considerar varios factores como:

- Facilidad de conseguir en el mercado nacional.
- Costo.
- Conductividad térmica de los materiales
- Condiciones térmicas a las que van a estar sometidos los materiales.

Para el diseño del horno se necesita una estructura aislada del techo, piso y paredes para impedir accidentes por el aumento de temperatura, asimismo impedir fugas de calor y aprovechar la energía generada

La estructura del horno se observa en la Figura 14, consta de tres capas que son:

- Capa Interna
- Capa de aislamiento
- Capa externa



3.1.1. Capa interna:

Es la parte del horno en la cual se van a situar las piezas metálicas pintadas a ser curadas, en esta zona se genera el calor del horno; las paredes de esta capa están construidas de acero inoxidable.

La estructura interna está construida por acero A36 que posee alrededor del 1,2% de carbón lo que los hace fácil de moldear, motivo por el cual es muy utilizado en la construcción de maquinaria, edificios, herramientas y obras públicas, además de su disponibilidad en el mercado lo hacen muy accesible; para el piso se utiliza una plancha antideslizante de acero A36.

3.1.2. Capa de aislamiento:

Es muy importante evitar que el calor generado en el interior del horno emerja hacia el exterior del mismo ya que este calor puede generar daños a los trabajadores, iniciar incendios entre algunas de las consecuencias además de generar pérdidas de calor por consecuencia la temperatura al interior del horno disminuiría, motivo por el cual es necesario colocar un elemento aislante de calor.

La lana de vidrio posee grandes características para aislamiento acústico y térmico dando total seguridad frente al fuego; su costo es reducido frente a otros aislantes existentes en el mercado, además su facilidad de instalación es un punto muy importante; puede soportar temperaturas hasta de 500 °C.

La lana de vidrio utilizada en el horno se aprecia en la Figura 15.

Capa de aislamiento conformada por lana de vidrio



Figura 15. Lana de vidrio

Fuente: URSA GLASWOOL

3.1.3. Capa externa:

El recubrimiento del horno que está en contacto con el exterior y los trabajadores, debe estar libre de altas temperaturas para evitar accidentes y lesiones además de tener un aspecto estético favorable.

La capa externa del horno está formada por acero galvanizado el mismo que es resistente a la corrosión, abrasión, resistencia mecánica elevada entre sus principales cualidades; este material es de fácil acceso en el mercado además su costo es reducido y proporciona un acabado agradable debido a su fácil pintado brindando una protección integral a sus elementos internos y no necesita mantenimiento.

3.2. Sistema de ventilación

El sistema de ventilación se muestra en la Figura 16, está constituido por una caja en forma de caracol ubicada en la parte posterior del horno en la cual se ubica el ventilador, el mismo que extrae el aire que circula por los ductos de retroalimentación del horno.

El sistema de ductos así como la caja en la que está el ventilador son hechas de acero A36 debido a su facilidad de moldeo y resistencia a altas temperaturas.

Sistema de ventilación del horno

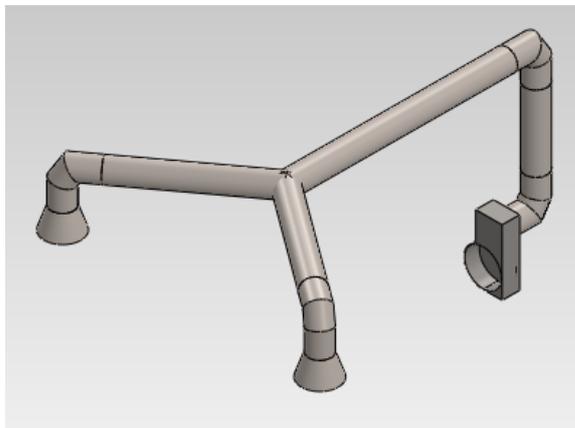


Figura 16. Sistema de ventilación del horno diseñado en Solidworks

Elaborado por: Sebastián Bastidas

3.2.1. Dimensionamiento del ventilador

Para dimensionar el ventilador es necesario conocer la cantidad de aire que se requiere mover a través de un punto fijo; para esto se precisa calcular el volumen total de la cámara interna del horno puesto que se necesita mover todo el aire que se encuentra al interior del horno.

Ecuación 1. Cálculo del volumen de la cámara interna del horno

$$V = \text{Ancho} * \text{Altura} * \text{Profundidad}$$

$$V = 12.17 \text{ m}^3$$

Ecuación 2. Cantidad de metros cúbicos por segundo

$$\frac{12.17 \text{ m}^3}{1 \text{ minuto}} * \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} = 0.2028 \text{ m}^3/\text{s}$$

El ventilador que se decide utilizar en el horno se observa en la Figura 17, las características del ventilador son las siguientes:

- Ventilador centrífugo con motor monofásico.
- Diámetro de las aspas del ventilador 25 cm.
- Potencia 0.5 Kw.
- Potencia 1/4 HP.
- Corriente 4 A.

Ventilador centrífugo

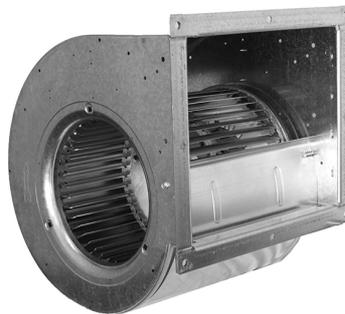
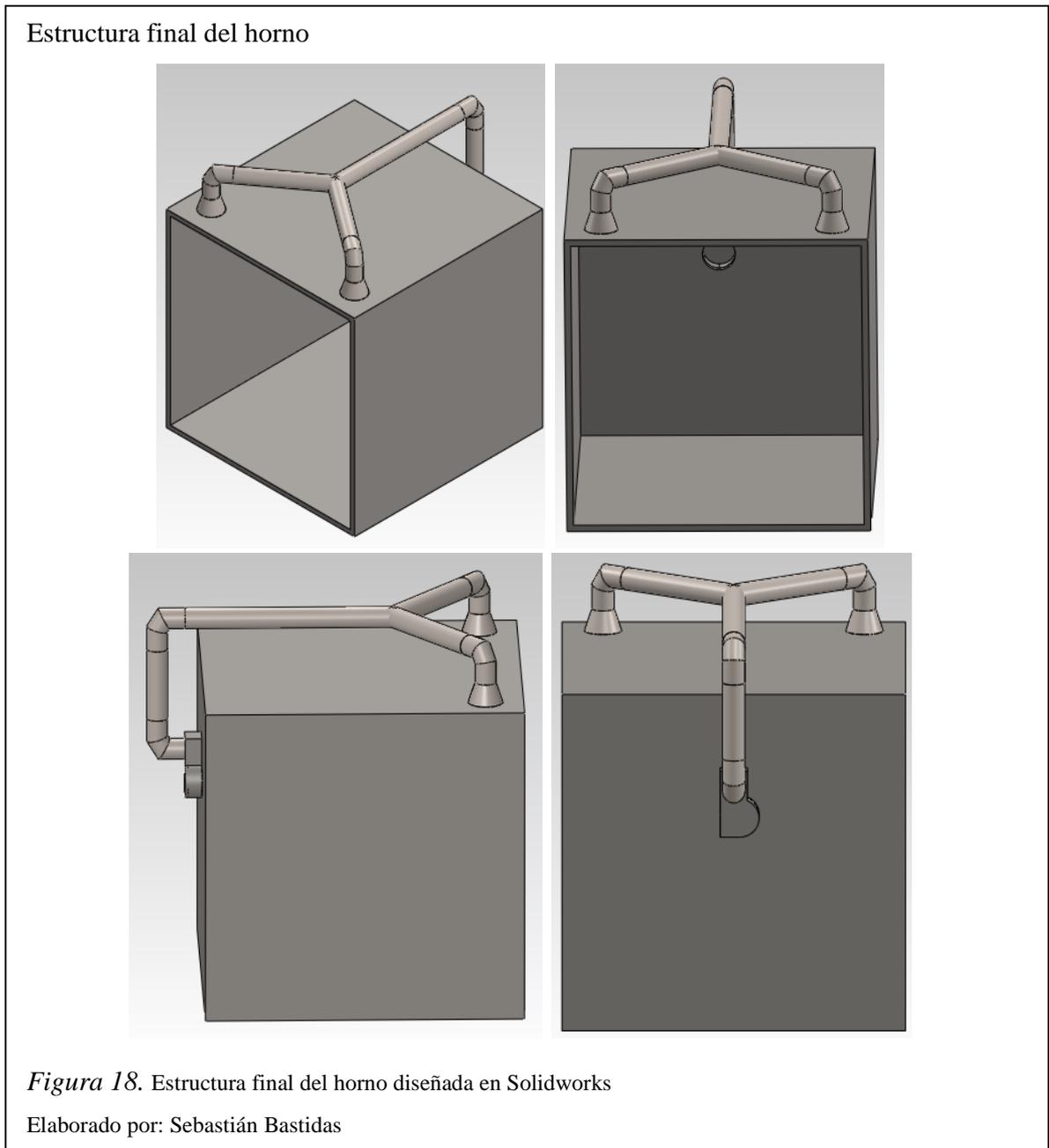


Figura 17. Ventilador centrífugo utilizado en el horno

Fuente: AIROLITE

3.3. Estructura final de horno

La distribución de los componentes estructurales del horno se pueden apreciar en la Figura 18.



El detalle de la estructura se puede observar en los planos del horno en el Anexo 5.

3.4. Análisis térmico del horno

Para realizar un análisis térmico se debe iniciar por determinar la cantidad de calor que necesita la carga, asimismo calcular el calor a impartir al aire, pérdidas de energía en paredes y techo para obtener la potencia total que necesita el sistema.

3.4.1. Calor necesario por la carga y el horno

Para conocer la cantidad de calor exacta a impartir a la carga se debe asumir una masa crítica o el horno a su capacidad máxima, además de conocer las características térmicas del acero ASTM A-36, asimismo comprender la variación de temperatura.

A continuación se presentan las constantes que se van a utilizar para el cálculo de la cantidad de calor necesaria para la carga.

$mc = 48.14 \text{ kg}$	Masa crítica del horno
$T_{max} = 200^{\circ}\text{C}$	Temperatura máxima
$T_{min} = 8^{\circ}\text{C}$	Temperatura mínima en Quito
$C_{pc} = 0.487 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{K}}$	Calor específico del acero ASTM A-36

Ecuación 3. Cantidad de calor necesaria para la carga

$$Q_c = mc \cdot C_{pc} \cdot (T_{max} - T_{min})$$

$$Q_c = 4501.66 \text{ kJ}$$

Es necesario calcular la cantidad de calor que necesitan las paredes del horno para poder llegar a la temperatura de trabajo idónea, muchas veces el calor absorbido por las paredes puede ser mayor que el calor suministrado a la carga.

$P_p = 7832 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	Densidad del acero ASTM A-36
---	------------------------------

Ecuación 4. Volumen de las paredes del horno

$$Vp = Largo * Ancho * Espesor$$

$$Vp = 0.01 m^3$$

Ecuación 5. Masa total de las paredes del horno

$$mpa = Vp.Pp$$

$$mpa = 78.32 \text{ kg}$$

$$Cpc = 0.487 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}}$$

Calor específico del acero ASTM A-36

Ecuación 6. Cantidad de calor necesario para las paredes

$$Qpa = mpa.Cpc.(Tmax - Tmin)$$

$$Qpa = 7323.23 \text{ kJ}$$

Además de saber el calor necesario en las paredes es preciso calcular el calor necesario en el piso y techo; el cálculo se realiza de la misma manera que las paredes.

$$Pp = 7832 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Densidad del acero ASTM A-36

Ecuación 7. Volumen del piso y techo del horno

$$Vt = Largo * Ancho * Espesor$$

$$Vt = 0.01 m^3$$

Ecuación 8. Masa total del piso y techo del horno

$$mt = Vt.Pp$$

$$mt = 86.50 \text{ kg}$$

$$Cpc = 0.487 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K}}$$

Calor específico del acero ASTM A-36

Ecuación 9. Cantidad de calor necesario para el piso y techo del horno

$$Q_{tp} = mt \cdot C_{pc} \cdot (T_{max} - T_{min})$$

$$Q_{tp} = 8088.51 \text{ kJ}$$

3.4.2. Coeficiente de transferencia de calor por convección

Al desarrollar un análisis térmico completo se requiere conocer los coeficientes de transferencia de calor por convección, conducción y radiación. Estos coeficientes ayudan a determinar la temperatura media a la que se encuentran los gases al interior del horno. La velocidad de los gases al interior del horno es de $0.3 \frac{m}{s}$ para no afectar a la capa de pintura en polvo.

$$Ug = 2.57 * 10^{-5} \frac{kg}{m.s}$$

Viscosidad dinámica del aire a 200°C

$$Pg = 0.746 \frac{kg}{m^3}$$

Densidad del aire a 200°C

$$Vg = 0.3 \frac{m}{s}$$

Velocidad de los gases al interior del horno

$$At = 4.5 \text{ m}^2$$

Área transversal

$$Pm = 12.2 \text{ m}$$

Perímetro de la superficie en contacto con el aire

$$Dh = \frac{4 \cdot At}{Pm}$$

Diámetro hidráulico

$$Dh = 1.48 \text{ m}$$

Diámetro hidráulico

Ecuación 10. Número de Reynolds para el aire caliente dentro de la cabina del horno

$$Reg = \frac{Pg \cdot Vg \cdot Dh}{Ug}$$

$$Reg = 12848.12$$

Flujo turbulento dentro del horno

$$n = 0.4$$

Para un fluido en calentamiento

$$Pr = 0.7$$

Numero de Prandtl para aire; proporcional al coeficiente de viscosidad y la difusividad térmica

Ecuación 11. Ecuación de Dittus-Boelter para convección forzada al interior de un tubo

$$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^n$$

$$Nu = 38.62$$

$$k_{ai} = 0.0373 \frac{w}{m^{\circ}K}$$

Conductividad térmica del aire a 190°C

Ecuación 12. Coeficiente de transferencia de calor por convección

$$h_i = \frac{k_{ai} \cdot Nu}{D_h}$$

$$h_i = 0.98 \frac{w}{m^2 \circ K}$$

3.4.3. Número de Biot

En la conducción transitoria de calor el método de resistencia despreciable es el procedimiento más útil y sencillo. Si la resistencia por convección es mucho mayor que la resistencia por conducción se puede decir que es despreciable.

Ecuación 13. Longitud característica de la carga máxima dentro del horno

$$L_c = \frac{\text{Volumen total}}{\text{Area superficial total}}$$

$$L_c = 0.5 \text{ m}$$

$$K_{ac1} = 48.8 \frac{w}{m^{\circ}K}$$

Conductividad térmica del acero A-36

Ecuación 14. Número de Biot

$$Bi = \frac{h_i \cdot L_c}{K_{ac1}}$$

$$Bi = 0.01$$

Ya que el número de Biot < 0.1 se puede utilizar el método de resistencia despreciable

3.4.4. Temperatura del aire al interior del horno

Por la teoría de conducción en estado transitorio por el método de resistencia interna despreciable se puede utilizar este procedimiento cuando se requiere calentar o enfriar un sólido sumergido en un fluido o transferencia de calor por convección.

No existen gradientes de temperatura significantes.

Ecuación 15. Temperatura promedio del aire

$$Tg = \frac{(T_{max} - T_{min}) \cdot e^{-\left(\frac{h_i \cdot A_s \cdot t}{\rho_p \cdot V \cdot C_p c}\right)}}{1 - e^{-\left(\frac{h_i \cdot A_s \cdot t}{\rho_p \cdot V \cdot C_p c}\right)}}$$

$$t = 1350 \text{ s}$$

Tiempo de calentamiento

$$A_s = 0.71 \text{ m}^2$$

Área superficial carga máxima

$$V_c = 0.32 \text{ m}^3$$

Volumen carga máxima

$$Tg = 166.55 \text{ }^\circ\text{C}$$

Temperatura de los gases al interior del horno

3.4.5. Calor a impartir al aire dentro del horno

Al desarrollar un análisis térmico se debe determinar la cantidad de calor que se va a suministrar al aire.

A continuación se presentan las constantes que se van a utilizar para el cálculo de la cantidad de calor necesaria para el aire al interior del horno.

$$\rho_g = 0.746 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Densidad del aire a 200°C

$$C_{pa} = 1.023 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}^\circ\text{K}}$$

Calor específico deña ore a 200°C

$$\rho_{alt} = 0.929 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Densidad del aire a 2785m de altura

$$\rho_{nm} = 1.225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Densidad del aire a nivel del mar

Ecuación 16. Factor de corrección de altura

$$G = \frac{P_{alt}}{P_{nm}}$$
$$G = 0.758$$

Ecuación 17. Volumen de la cabina del horno

$$Vt = Largo * Ancho * Ancho \quad \text{Volumen de la cabina del horno}$$
$$Vt = 12.17 m^3$$

Ecuación 18. Masa del aire al interior del horno

$$ma = Vt. Pa. G \quad \text{Masa del aire al interior del horno}$$
$$ma = 7.34 kg$$

Ecuación 19. Cantidad de calor necesaria para el aire al interior del horno

$$Qa = ma. Cpa. (Tmax - Tmin)$$
$$Qa = 1442.11 kJ$$

3.4.6. Cálculo de pérdidas de energía en las paredes

En los sistemas térmicos siempre existen pérdidas de calor tanto por las paredes, techo, piso y lo más importante ningún aislante térmico es perfecto. El cálculo de las pérdidas en las paredes ayuda a considerar esta energía para que el horno logre alcanzar la temperatura de trabajo.

En la Figura 19, se aprecia un diagrama que representa a las paredes del horno de curado de pintura electrostática en el cual se puede observar la capa externa, capa de aislamiento y la capa interna que conforman la estructura del horno con sus respectivas dimensiones en milímetros.

Dimensiones de los elementos que componen las paredes del horno

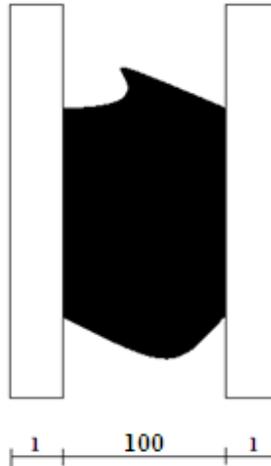


Figura 19. Dimensiones de las paredes del horno

Elaborado por: Sebastián Bastidas

Para realizar los cálculos de las pérdidas de energía se requiere hacer una analogía eléctrica de las capas del horno mediante resistencias térmicas.

Se utiliza una analogía eléctrica debido a que en electricidad la resistencia se opone al paso de electrones, lo mismo sucede en este caso pero en este caso se oponen al paso del flujo de calor.

De la Figura 20, se detallan los siguientes bloques:

R1: Placa interior del horno

R2: Aislante térmico

R3: Placa exterior del horno

R4: Resistencia por convección al exterior del horno

R5: Resistencia debido a la radiación

Analogía eléctrica de las paredes del horno

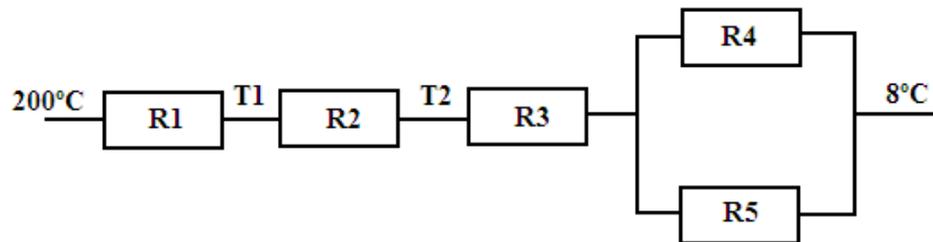


Figura 20. Analogía eléctrica de las paredes del horno

Elaborado por: Sebastián Bastidas

3.4.6.1. Resistencia en las paredes internas del horno

$$L_p = 0.001 \text{ m}$$

Espesor de la pared

$$A_p = 15.48 \text{ m}^2$$

Área total de las paredes frontales y laterales

$$K_{ac1} = 48.8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Conductividad térmica del acero A-36

Ecuación 20. Resistencia térmica de las paredes internas del horno

$$R1 = \frac{L_p}{k_{ac1} A_p}$$

$$R1 = 9.68 * 10^{-6} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

3.4.6.2. Resistencia del aislante térmico

Para realizar el cálculo de la resistencia térmica presente en el aislante térmico se utiliza las siguientes constantes:

$$L_{ai} = 0.02 \text{ m}$$

Espesor del aislamiento térmico

$$A_p = 15.48 \text{ m}^2$$

Área total de las paredes frontales y laterales

$$K_{ais} = 0.065 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Conductividad térmica de la lana de vidrio

Ecuación 21. Resistencia térmica del aislante térmico

$$R2 = \frac{L_{ai}}{k_{ais}.A_p}$$

$$R2 = 6.96 * 10^{-2} \frac{K}{w}$$

3.4.6.3. Resistencia en las paredes externas del horno

$$L_p = 0.001 \text{ m}$$

Espesor de la pared

$$A_p = 15.48 \text{ m}^2$$

Área total de las paredes frontales y laterales

$$K_{ac2} = 58.7 \frac{w}{m^2.K}$$

Conductividad térmica del acero galvanizado

Ecuación 22. Resistencia térmica de las paredes externas del horno

$$R3 = \frac{L_p}{k_{ac2}.A_p}$$

$$R3 = 7.71 * 10^{-6} \frac{K}{w}$$

3.4.6.4. Resistencia térmica debido a la convección

$$h_{ext} = 0.468 \frac{w}{m^2.K}$$

Coefficiente de transferencia de calor externo

Ecuación 23. Resistencia térmica debido a la convección

$$R4 = \frac{1}{h_{ext}.A_p}$$

$$R4 = 0.10 \frac{K}{w}$$

3.4.6.5. Coeficiente de convección al exterior del horno

Método de convección libre para una placa vertical debido a que una placa pierde calor por convección libre.

Para realizar el cálculo del coeficiente de convección al exterior del horno se utiliza las siguientes constantes:

$g = 9.8 \frac{m}{s^2}$	Aceleración gravitacional
$\beta_{aire} = \frac{1}{T_{min}}$	Coeficiente de expansión volumétrica
$\beta_{aire} = 0.125 \frac{1}{^\circ C}$	
$T_p = 37 \text{ }^\circ C$	Temperatura superficial de la placa
$T_{min} = 8 \text{ }^\circ C$	Temperatura ambiental mínima
$L = 1.8 \text{ m}$	Longitud característica de la placa
$U_{ai} = 3.45 * 10^{-5} \frac{m^2}{s}$	Viscosidad cinemática del aire a 200 °C
$Pr = 0.7$	Numero de Prandtl
$k_{ai} = 0.0373 \frac{w}{m^\circ K}$	Conductividad térmica del aire a 190°C

Ecuación 24. Número de Rayleigh

Número adimensional asociado a la transferencia de calor dentro de un fluido; cuando el valor se encuentra por debajo de un valor crítico la transferencia de calor se realiza por conducción caso contrario la transferencia de calor se realiza por convección.

$$Ra = \frac{g \cdot \beta_{aire} \cdot (T_p - T_{min}) \cdot L^3}{U_{ai}} * Pr$$

$$Ra = 9354414.68$$

Ecuación 25. Número de Nusselt

Numero adimensional que mide el aumento de transmisión de calor constante en una superficie

$$Nu = 0.14 * \sqrt[3]{Ra}$$

$$Nu = 29.50$$

Ecuación 26. Coeficiente de transferencia de calor externo del horno

$$h_{ext} = \frac{k \cdot i \cdot Nu}{L}$$
$$h_{ext} = 0.468 \frac{w}{m^2 \cdot K}$$

3.4.6.6. Resistencia térmica debido a la radiación

$$hr = 0.001 \frac{w}{m^2 \cdot K} \quad \text{Coeficiente de radiación al exterior}$$

Ecuación 27. Resistencia térmica debido a la radiación

$$R5 = \frac{1}{hr \cdot Ap}$$
$$R5 = 41.27 \frac{K}{w}$$

3.4.6.7. Coeficiente de radiación del exterior del horno

$$\sigma = 5.67 * 10^{-8} \frac{w}{m^2 \cdot k^4} \quad \text{Constante de Stefan-Boltzman}$$
$$\varepsilon = 0.3 \quad \text{Emisividad del acero a 27 °C}$$

Ecuación 28. Coeficiente de transferencia de calor por radiación

$$hr = \sigma \cdot \varepsilon \cdot \frac{(Tp^4 - Tmin^4)}{Tp - Tmin}$$
$$hr = 0.001 \frac{w}{m^2 \cdot K}$$

3.4.6.8. Resistencia total del sistema

Ecuación 29. Resistencia equivalente de radiación y convección

$$Req = \frac{1}{\frac{1}{R4} + \frac{1}{R5}}$$

$$Req = 0.10 \frac{K}{w}$$

Ecuación 30. Resistencia térmica total de las paredes del horno

$$R_{tot} = R1 + R2 + R3 + Req$$

$$R_{tot} = 0.17 \frac{K}{w}$$

3.4.6.9. Coeficiente global de transferencia de calor

El coeficiente relaciona las resistencias térmicas del sistema con la superficie

Ecuación 31. Coeficiente global de transferencia de calor

$$U = \frac{1}{R_{tot} \cdot Ap}$$

$$U = 0.27 \frac{w}{m^2 \cdot K}$$

3.4.6.10. Calor perdido por las paredes del horno

El flujo de calor que pasa a través de las paredes laterales y frontales del horno.

Ecuación 32. Calor perdido de las paredes del horno

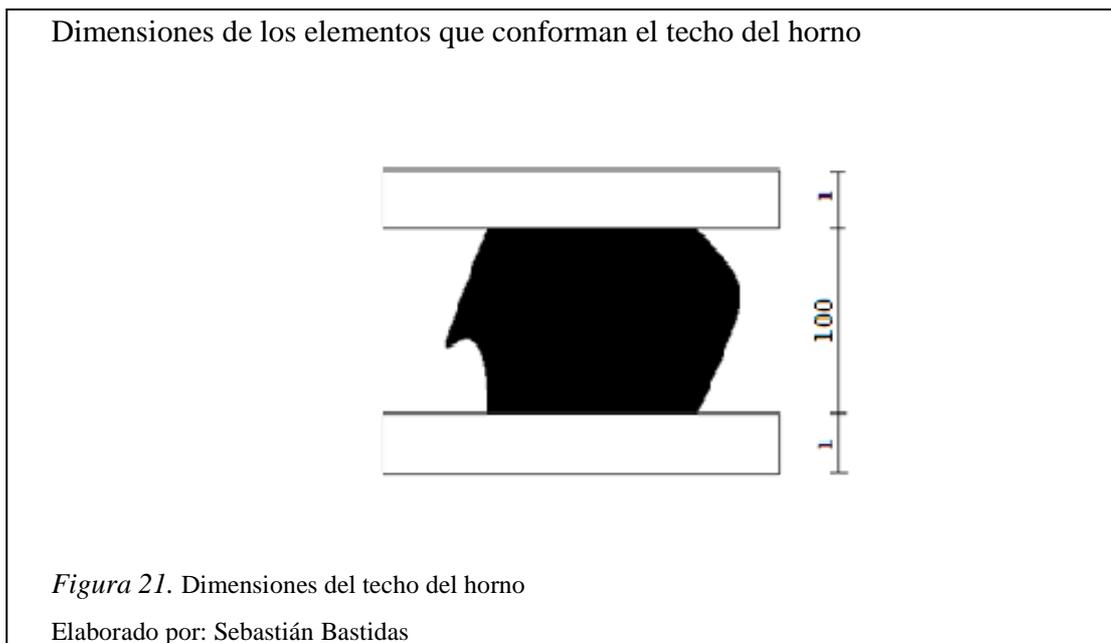
$$Qp = \frac{U \cdot Ap \cdot (T_{max} - T_{min})}{1000}$$

$$Qp = 1.16 \text{ kW}$$

3.4.7. Cálculo de pérdidas de energía en el techo

El cálculo de las pérdidas de calor en el techo se realizó como se muestra a continuación; la base del horno se encuentra apartada del suelo por unos soportes y no posee aislamiento ya que el aire caliente se torna más ligero y tiende a elevarse, por lo que la base únicamente está constituida por una plancha de acero A36 antideslizante.

En la Figura 21, se aprecia un diagrama que representa a las paredes del horno de curado de pintura electrostática en el cual se puede observar la capa externa, capa de aislamiento y la capa interna que conforman la estructura del horno con sus respectivas dimensiones en milímetros.



Para realizar los cálculos de las pérdidas de energía se requiere hacer una analogía eléctrica de las capas del horno mediante resistencias térmicas.

Se utiliza una analogía eléctrica debido a que en electricidad la resistencia se opone al paso de electrones, lo mismo sucede en este caso pero en este caso se oponen al paso del flujo de calor.

De la Figura 22, se detallan los siguientes bloques:

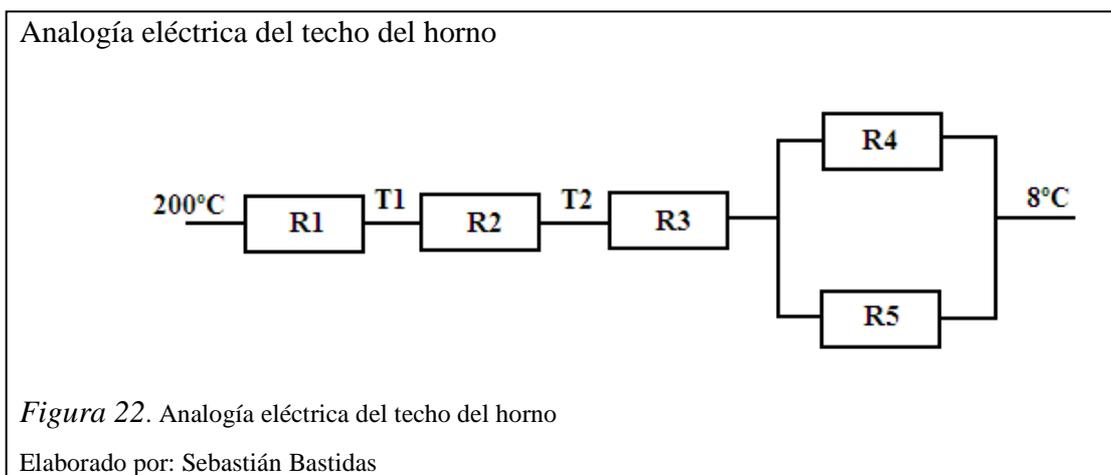
R1: Placa interior del horno

R2: Aislante térmico

R3: Placa exterior del horno

R4: Resistencia por convección al exterior del horno

R5: Resistencia debido a la radiación



3.4.7.1. Resistencia en la placa interna del techo del horno

$$L_p = 0.001 \text{ m}$$

Espesor de la placa

$$A_{tp} = 5.29 \text{ m}^2$$

Área total del techo

$$K_{ac1} = 48.8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Conductividad térmica del acero A-36

Ecuación 33. Resistencia térmica de la parte interna del techo del horno

$$R1 = \frac{L_p}{k_{ac1} A_{tp}}$$

$$R1 = 3.71 * 10^{-6} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

3.4.7.2. Resistencia térmica del aislante térmico

$L_{ai} = 0.10 \text{ m}$	Espesor del aislamiento térmico
$A_{tp} = 9 \text{ m}^2$	Área total del techo
$K_{ais} = 0.065 \frac{\text{w}}{\text{m}^{\circ}\text{K}}$	Conductividad térmica de la lana de vidrio

Ecuación 34. Resistencia térmica del aislante térmico del techo

$$R2 = \frac{L_{ai}}{k_{ais}.A_{tp}}$$
$$R2 = 2.79 * 10^{-2} \frac{\text{K}}{\text{w}}$$

3.4.7.3. Resistencia térmica en la placa externa del techo del horno

$L_p = 0.001 \text{ m}$	Espesor de la placa
$A_{tp} = 5.29 \text{ m}^2$	Área total del techo
$K_{ac2} = 58.7 \frac{\text{w}}{\text{m}^{\circ}\text{K}}$	Conductividad térmica del acero galvanizado

Ecuación 35. Resistencia térmica de las paredes externas del techo del horno

$$R3 = \frac{L_p}{k_{ac2}.A_{tp}}$$
$$R3 = 3.08 * 10^{-6} \frac{\text{K}}{\text{w}}$$

3.4.7.4. Resistencia térmica debido a la convección

$h_{ext} = 0.468 \frac{\text{w}}{\text{m}^2.\text{K}}$	Coficiente de transferencia de calor externo
--	--

Ecuación 36. Resistencia térmica debido a la convección en el techo del horno

$$R4 = \frac{1}{h_{ext}.A_{tp}}$$
$$R4 = 0.39 \frac{\text{K}}{\text{w}}$$

3.4.7.5. Resistencia térmica debido a la radiación

$$hr = 0.001 \frac{w}{m^2.K}$$

Coficiente de radiación al exterior

Ecuación 37. Resistencia térmica debido a la radiación en el techo del horno

$$R5 = \frac{1}{hr.Atp}$$

$$R5 = 165.08 \frac{K}{w}$$

3.4.7.6. Resistencia total del sistema

Ecuación 38. Resistencia equivalente entre la radiación y convección en el piso y techo

$$Req = \frac{1}{\frac{1}{R4} + \frac{1}{R5}}$$

$$Req = 0.39 \frac{K}{w}$$

Ecuación 39. Resistencia térmica total del piso y techo

$$Rtot = R1 + R2 + R3 + Req$$

$$Rtot = 0.66 \frac{K}{w}$$

3.4.7.7. Coficiente global de transferencia de calor en el techo del horno

El coeficiente relaciona las resistencias térmicas del sistema con la superficie del horno.

Ecuación 40. Coficiente global de transferencia de calor en el techo del horno

$$U = \frac{1}{Rtot.Atp}$$

$$U = 0.27 \frac{w}{m^2.K}$$

3.4.7.8. Calor perdido por el techo del horno

El flujo de calor que pasa a través del techo del horno.

Ecuación 41. Calor perdido en el techo del horno

$$Q_{te} = \frac{U \cdot Ap \cdot (T_{max} - T_{min})}{1000}$$

$$Q_{te} = 0.29 \text{ kW}$$

3.4.8. Potencia total requerida por el horno

Ya determinada la cantidad de energía que se requiere para la carga, así como las pérdidas se puede determinar la potencia que necesita el horno.

$$t = 1350 \text{ s}$$

Tiempo de calentamiento

Ecuación 42. Flujo de calor a impartir al horno y la carga

$$Q_1 = \frac{Q_c + Q_{pi} + Q_t + Q_a}{t}$$

$$Q_1 = 15.82 \text{ kW}$$

Ecuación 43. Flujo de calor entre e horno y el ambiente

$$Q_2 = Q_p + Q_t$$

$$Q_2 = 1.44 \text{ kW}$$

Ecuación 44. Potencia total requerida por el sistema

$$Q_{tot} = Q_1 + Q_2$$

$$Q_{tot} = 17.26 \text{ kW}$$

3.4.9. Resumen de cargas

A continuación en la Tabla 1 y en la Figura 23, se muestra un resumen de la energía utilizada para el proceso de curado de pintura.

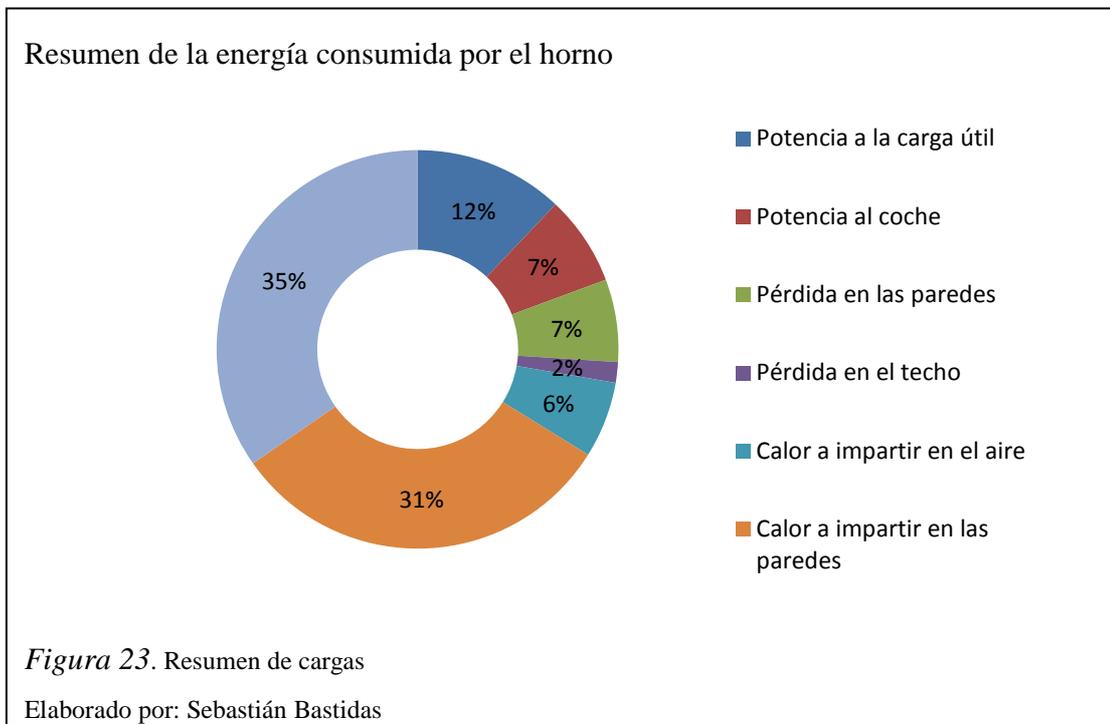
Tabla 1.

Resumen de cargas presentes en el horno

Qca	Potencia a la carga útil	2,08	Kw
Qco	Potencia al coche	1,26	Kw
Qp	Pérdida en las paredes	1,16	Kw
Qte	Pérdida en el techo	0,29	Kw
Qa	Calor a impartir en el aire	1,07	Kw
Qpa	Calor a impartir en las paredes	5,42	Kw
Qt	Calor a impartir en el techo	5,99	Kw
Qto	Potencia total	17,26	Kw

Nota. Kw=Kilovatios

Elaborado por: Sebastián Bastidas



3.5. Diseño eléctrico

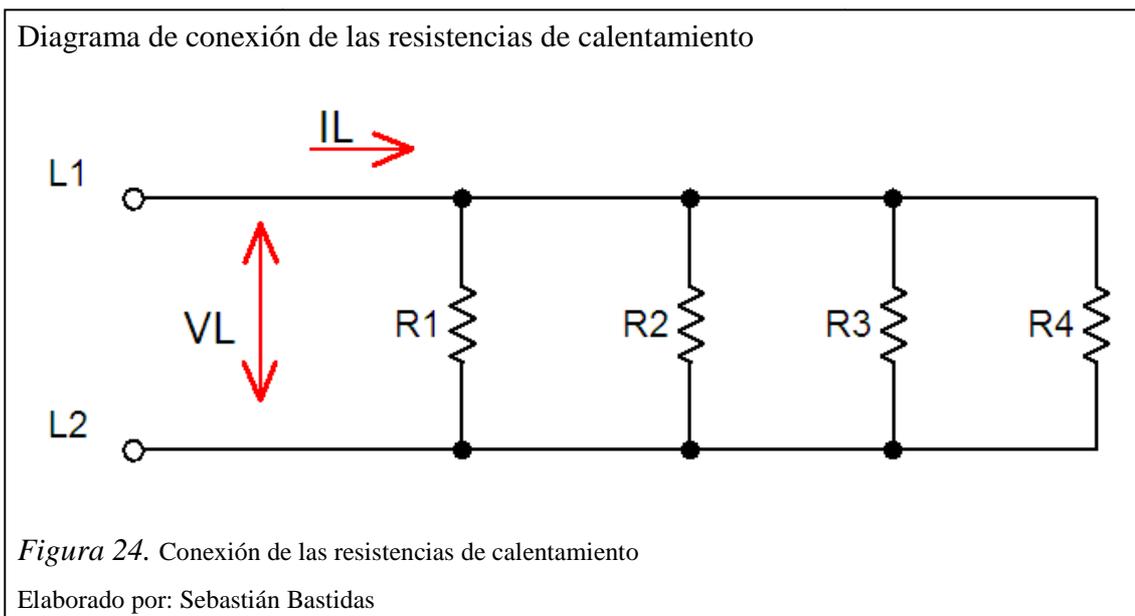
Una vez conocida la potencia que va a necesitar el horno para su funcionamiento se establece el tipo de resistencias a utilizar así como el número, la distribución, potencia de funcionamiento además de determinar la configuración en la cual se conectaran las resistencias.

La potencia total requerida por el horno es de 18 Kw; en el mercado existen resistencias de diferentes valores de potencia, por lo que se decide colocar 12 resistencias tubulares lisas tipo M de 1.5 Kw que proporcionarán la potencia requerida por el sistema.

Las resistencias se ubicarán en las paredes del horno, funcionan con 220 V, motivo por el cual el sistema de calentamiento constará de tres circuitos de calentamiento cada uno con cuatro resistencias en configuración paralela con las debidas protecciones eléctricas.

La creación de tres circuitos de calentamiento es para tener un mejor control de temperatura y evitar el colapso total del sistema de calentamiento.

En la Figura 24, se observa la conexión de las resistencias de calentamiento dentro del horno.



Ecuación 45. Potencia de línea

$$P_t = 18 \text{ kW}$$

Potencia total

$$P_l = 6 \text{ kW}$$

Potencia de línea

$$P_l = \sqrt{3} * V_L * I_L$$

Voltaje de línea

$$V_L = 220 \text{ VAC}$$

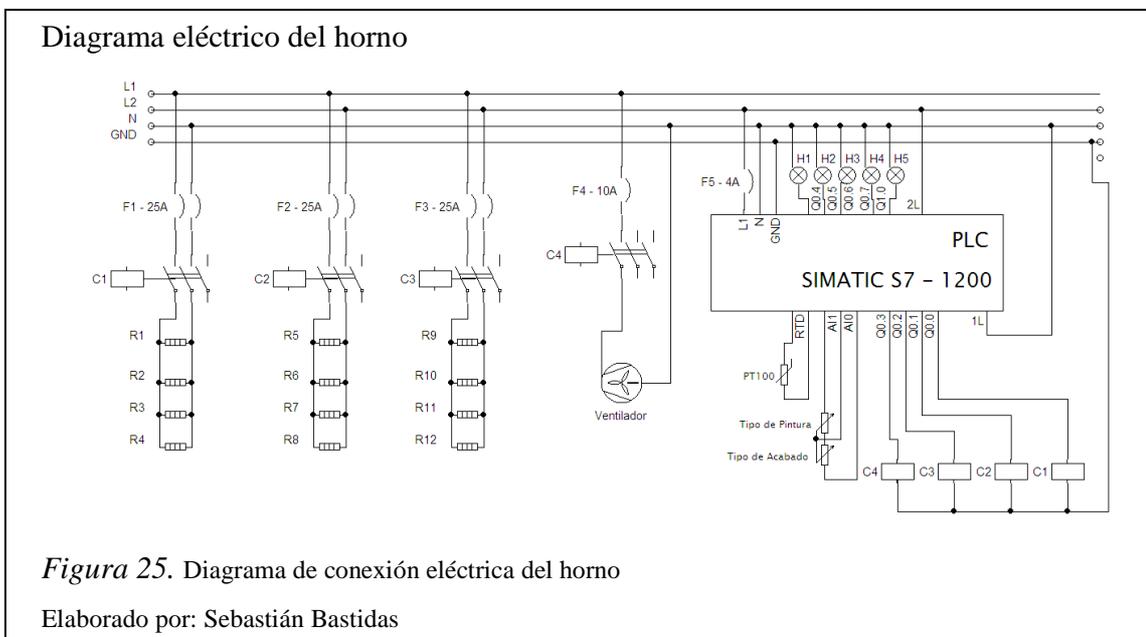
$$I_L = \frac{P_l}{\sqrt{3} * V_L}$$

Corriente de línea

$$I_L = 15.75 \text{ A}$$

3.5.1. Diagrama de conexión eléctrica del horno

En la Figura 25, se muestra la conexión eléctrica del horno, la misma que se realiza según los requerimientos de voltaje y configuración para las resistencias, además de colocar las protecciones magnéticas para el ventilador, resistencias y el controlador lógico programable conjuntamente se coloca indicadores H1, H2, H3, H4 y H5 para constatar el final del proceso además de verificar el aumento de temperatura.



El detalle del diagrama eléctrico se puede apreciar en el anexo 12.

3.6. Diseño del sistema de automatización

La automatización del sistema está a cargo de un controlador lógico programable SIMATIC S7 – 1200 el mismo que se encargará de medir la temperatura a través de un sensor RTD PT100, además de controlar las salidas según la lógica de programación para de esta manera tener un control preciso del proceso que realiza el horno.

En la figura 26, se muestra un diagrama de bloques que representa el funcionamiento del controlador lógico programable.

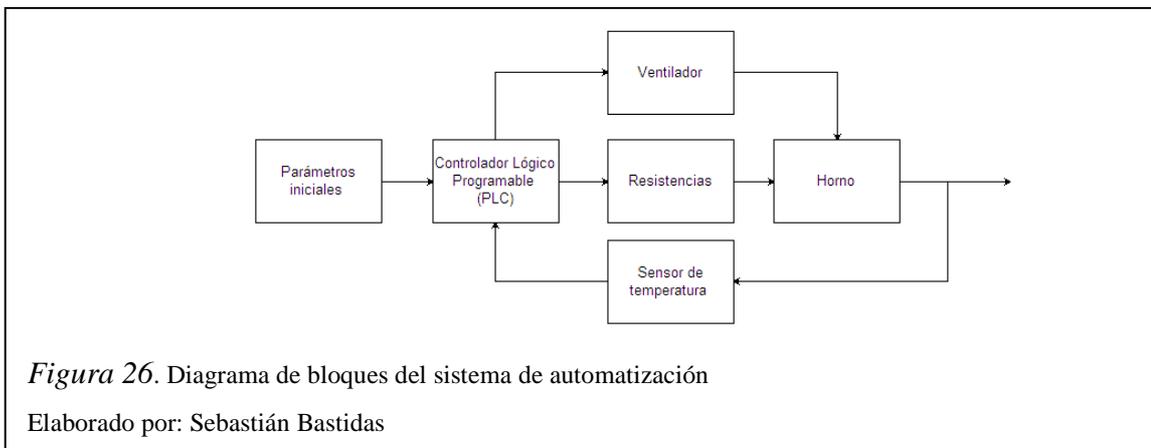


Figura 26. Diagrama de bloques del sistema de automatización

Elaborado por: Sebastián Bastidas

En la Figura 27, se aprecia el diagrama P&ID del horno de curado el cual muestra la ubicación del sensor, así como el funcionamiento de la convección forzada.

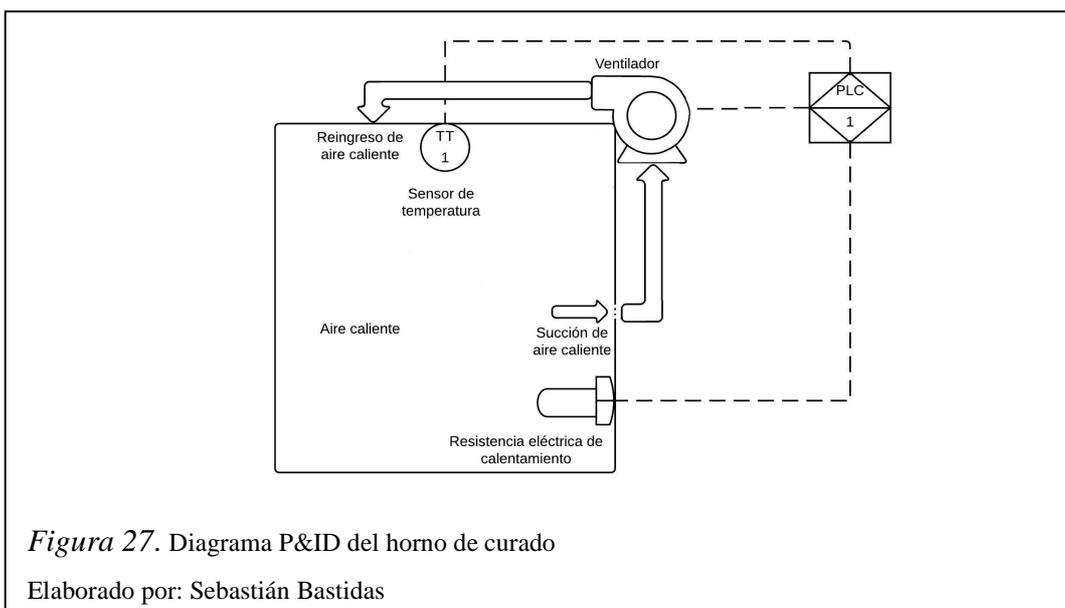


Figura 27. Diagrama P&ID del horno de curado

Elaborado por: Sebastián Bastidas

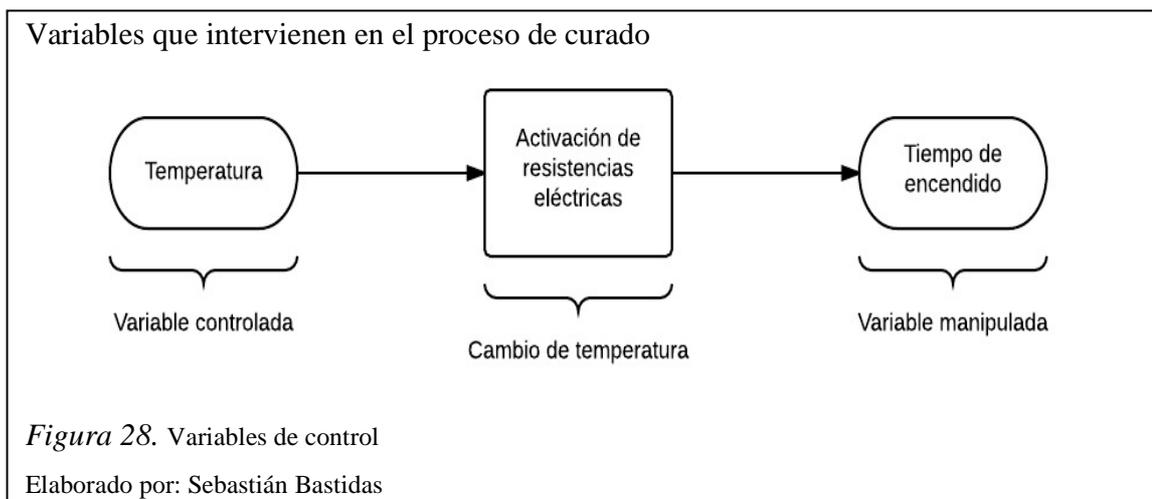
3.6.1. Variables de control

Para definir las variables del proceso de curado a continuación se describe el funcionamiento del horno.

1. Seleccionar el tipo de pintura.
2. Seleccionar el tipo de acabado.
3. Ya seleccionados los parámetros se puede iniciar el proceso mediante el pulsador de INICIO.
4. Las resistencias empiezan a encenderse aumentando la temperatura, la misma que es controlada según la programación del PLC.
5. Al mismo tiempo que se realiza el control de temperatura también se realiza en control de tiempo de curado.
6. Después de terminado el tiempo de curado inicia el periodo de enfriamiento del horno.
7. Cuando la temperatura descienda lo suficiente el proceso habrá terminado.

Después de definir todo el proceso de curado se establecen que las variables de control son:

- Tiempo
- Temperatura



3.6.2. Controlador Simatic S7-1200

El controlador Simatic S7 – 1200 es un dispositivo similar a un computador ya que este posee un microprocesador, una fuente de alimentación, entradas digitales para datos discretos (on/off), salidas digitales tipo relé y entradas analógicas, además de la posibilidad de acoplar una signal board y otros diferentes módulos dependiendo de la aplicación del controlador.

En la Tabla 2, se observa las características que posee el controlador Simatic S7-1200.

Tabla 2.

Características del PLC Simatic S7-1200

Modelo	CPU 1214C Versión 3.0
Entradas digitales	14 24 VDC a 4 mA
Entradas analógicas	2 0 a 10 V Resolución de 10 bits
Salidas digitales	10 Tipo relé 5 a 30 VDC Corriente máxima 2.0 A
Fuente de voltaje	20.4 a 28.8 VDC Corriente máxima 0.5 A
Memoria de trabajo	50 KB
Velocidad de ejecución de booleanos	0.1 us/instrucción
Software de programación	Total Integrated Automation Portal V13 de Siemens
Conexión	Profinet que soporta normas Ethernet y de protocolos TCP/IP

Nota. Se especifican las características técnicas del PLC Simatic S7-1200

Elaborado por: Sebastián Bastidas

En la Tabla 3, se muestra el resumen de las entradas del PLC utilizadas para controlar el horno de curado de pintura electrostática.

Tabla 3.

Descripción de las entradas del PLC SIMATIC S7 -1200

Entradas	Dirección		Voltaje	Descripción
Inicio	I0.0a		24 VDC	Inicia el proceso de curado
Stop	I0.1a		24 VDC	Parada de emergencia
Puerta	I0.2a		24 VDC	Sensor de apertura de la puerta
Tipo de Acabado	AIO	IW64	0-10 VDC	Entrada analógica 1
Tipo de Pintura	AII	IW66	0-10 VDC	Entrada analógica 2
RTD	IW80		24 VDC	Sensor de temperatura Pt100

Nota. Se especifican las direcciones, voltajes de las entradas utilizadas del PLC Simatic S7-1200

Elaborado por: Sebastián Bastidas

En la Tabla 4, se muestra el resumen de las salidas del PLC utilizadas para controlar el horno de curado de pintura electrostática.

Tabla 4.

Descripción de las salidas del PLC SIMATIC S7 – 1200

Salidas	Dirección	Voltaje	Descripción
Resistencias 1	Q0.0a	110 VAC	Primer grupo de resistencias
Resistencias 2	Q0.1a	110 VAC	Segundo grupo de resistencias
Resistencias 3	Q0.2a	110 VAC	Tercer grupo de resistencias
Ventilación	Q0.3a	110 VAC	Activación del ventilador
Inicio	Q0.4a	24 VDC	Indicadores de inicio de proceso
Indicador 1	Q0.5a	24 VDC	Temperatura 0 a 50°C
Indicador 2	Q0.6a	24 VDC	Temperatura 50 a 100°C
Indicador 3	Q0.7a	24 VDC	Temperatura 100 a 150°C
Indicador 4	Q0.0b	24 VDC	Temperatura 150 a 200°C

Nota. Se especifican las direcciones, voltajes de las salidas utilizadas del PLC Simatic S7-1200

Elaborado por: Sebastián Bastidas

El detalle de las variables utilizadas se puede apreciar en el anexo 6.

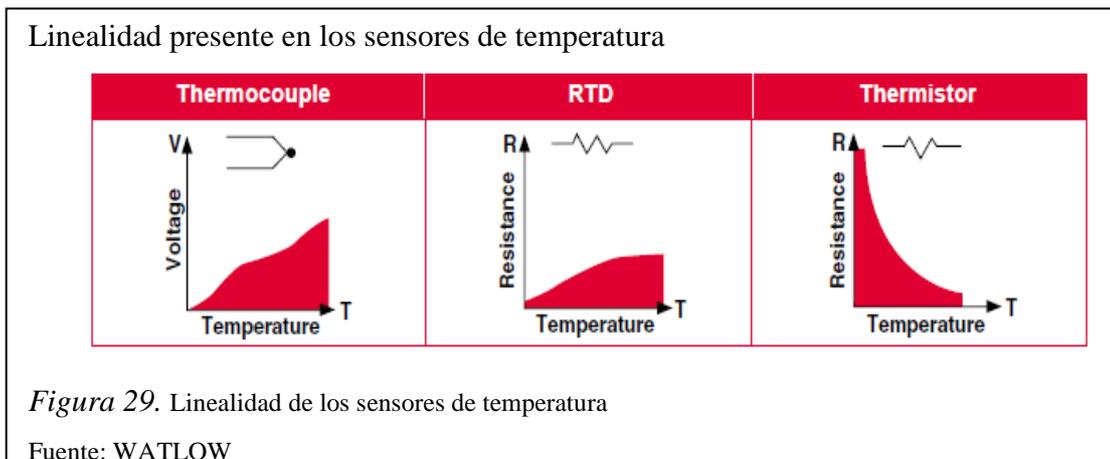
3.6.3. Sensor de temperatura

En la actualidad existen diferentes alternativas en lo que se refiere a sensores de temperatura su elección dependerá del uso, a continuación se detallan las características que debe poseer el sensor a utilizar en el horno de curado:

- Temperatura de 0 °C a 250 °C
- Linealidad
- Acondicionamiento

En el mercado nacional hay gran variedad de sensores que cumplen con el rango de temperatura requerido por lo que se procede a realizar una matriz de ponderación para seleccionar el tipo de sensor.

La Figura 29, muestra las curvas de temperatura en función del tiempo de los sensores de temperatura.



El sensor de temperatura RTD es la opción más útil para el horno de curado por las siguientes características:

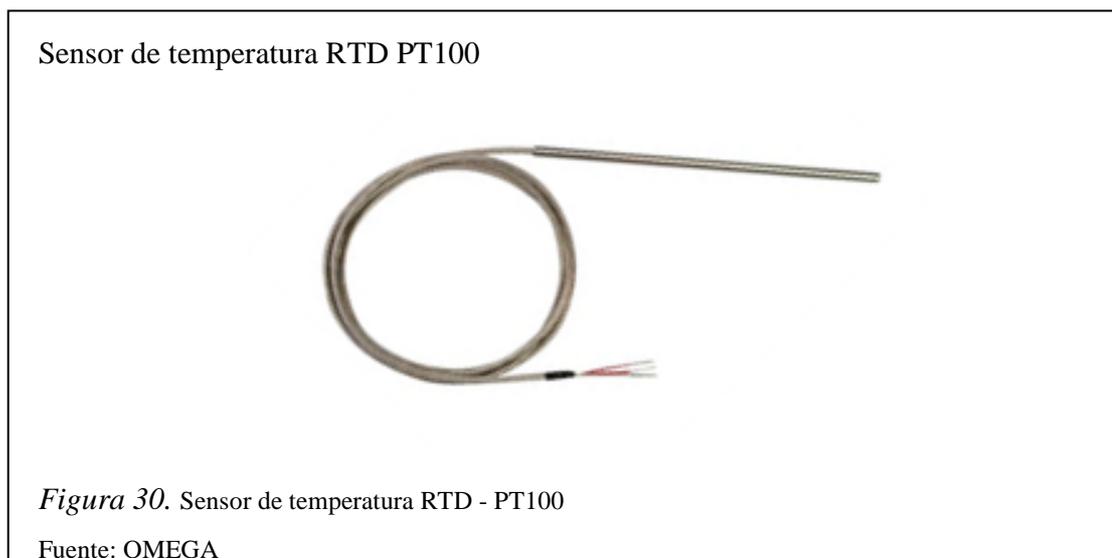
- Excelente linealidad
- Precisión de una décima de grado
- La distancia entre el sensor y el medidor no afecta a la medición de temperatura

Con los motivos expuestos anteriormente se seleccionó un sensor de temperatura RTD PT100 con las siguientes características:

- Resistencia de platino
- Precisión de 0.01 1 °C
- Rango de temperatura 0 – 300 °C

Constituido por platino cuya resistencia cambia con la temperatura; el platino otorga al sensor mejor linealidad a temperaturas medias y bajas.

El sensor va a estar ubicado en la mitad del horno sujetado al techo, debido a que el aire caliente tiende a subir y lo que se requiere controlar es la temperatura máxima del aire que debe ser aproximadamente de 200 °C, el sensor utilizado se muestra en la Figura 30.



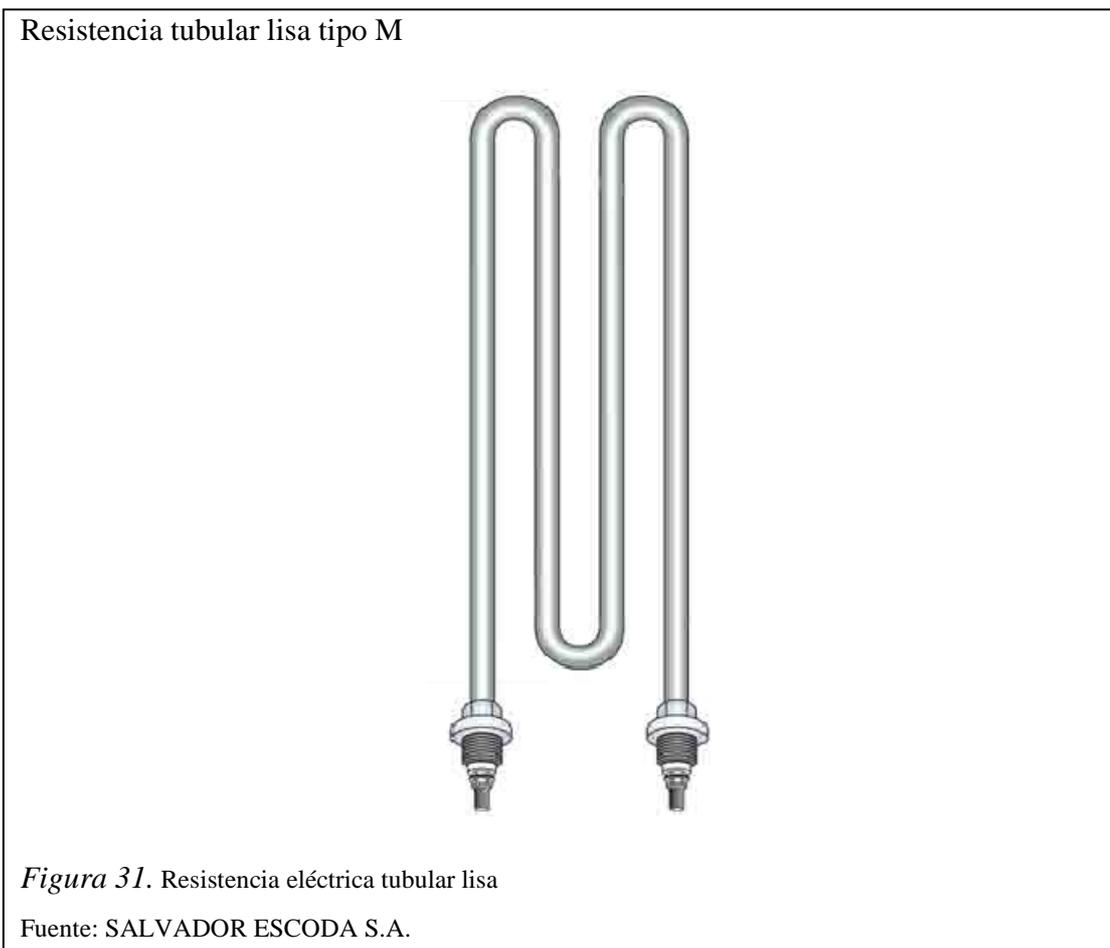
El sensor de temperatura seleccionado posee las siguientes características:

- Contiene un elemento de precisión de película delgada clase B de platino.
- Tiene 3 hilos que están protegidos con fibra de vidrio y una trenza de acero.
- Rango de temperatura de -50 a 500 °C

El detalle del sensor se puede apreciar en el anexo 3.

3.6.4. Resistencias eléctricas tubulares

Se utiliza resistencias tubulares lisas como se muestra en la Figura 31, ya que estas cumplen con todos los requerimientos, además son ideales para calentar el aire o mantener ambientes con temperatura controlada, pueden adoptar diversas formas debido a sus múltiples aplicaciones, pueden instalarse para el calentamiento directo o indirecto, asimismo colocarse en ductos de ventilación para el calentamiento de aire circulante.



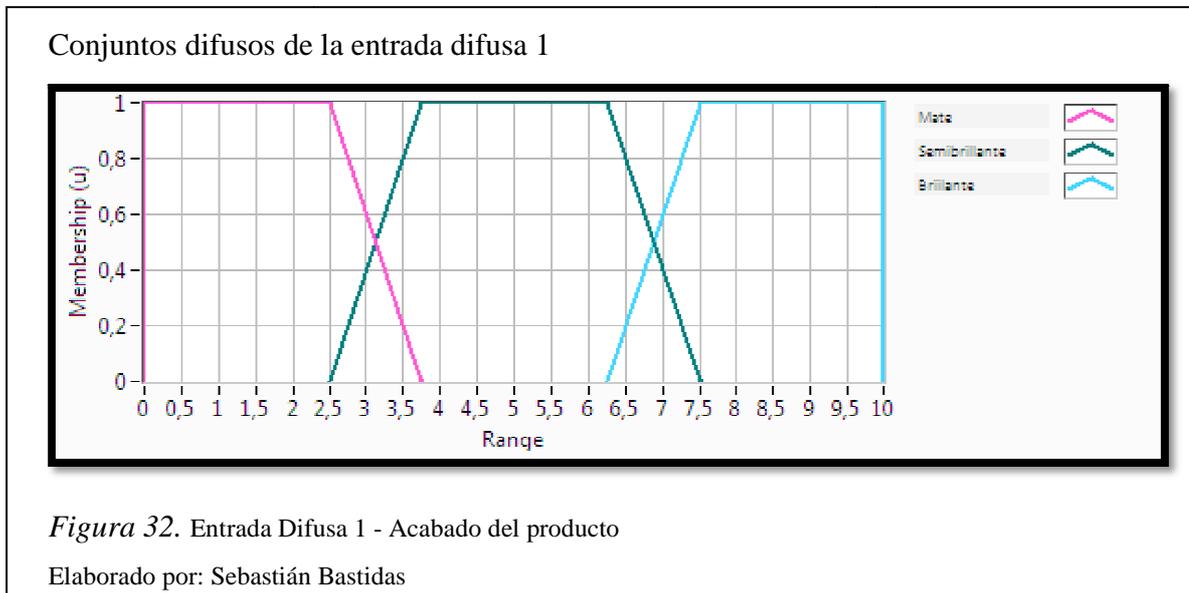
El proceso requiere una potencia total de 18 Kw por lo que se utiliza 12 resistencias tubulares lisas de 1.5 Kw cada una, ubicadas en las paredes del horno distribuidas uniformemente cuatro resistencias en cada pared a excepción de la puerta y el techo.

3.6.5. Diseño de la lógica difusa

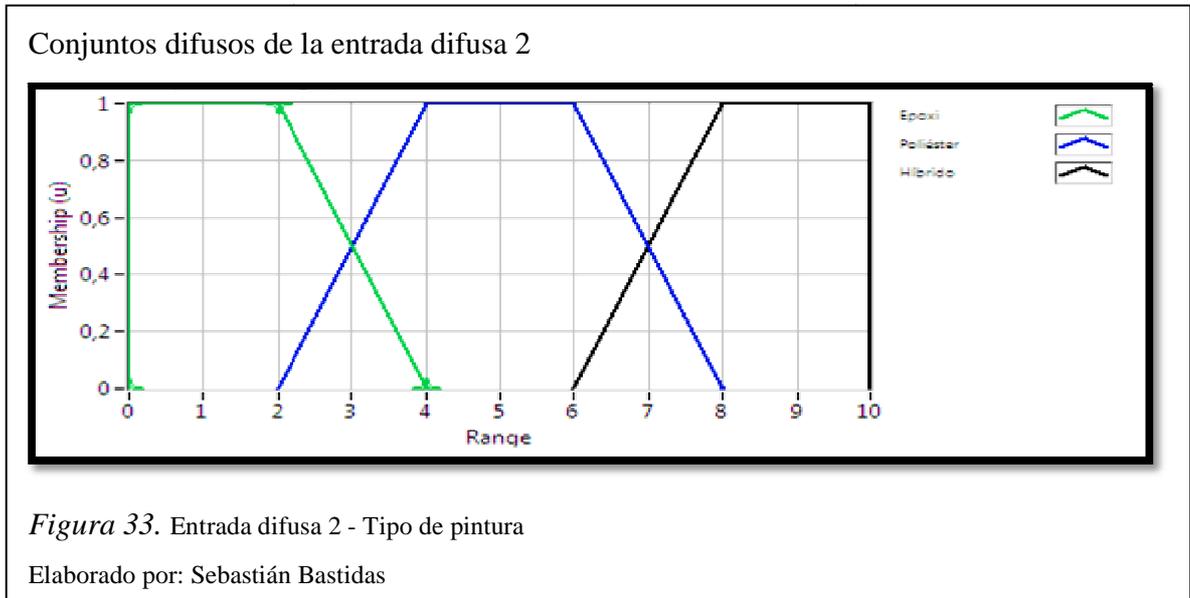
La lógica de control del horno se fundamenta en la lógica difusa; se establece el control mediante este método ya que al referirse al tipo de acabado no tiene parámetros finitos únicamente aproximaciones, por lo que se refiere a este tipo de datos mediante un lenguaje natural o común, este criterio también se aplica a la selección del tipo de pintura.

Fusificar es tomar una señal continua en la entrada y transformarla en un conjunto de valores entre 0 y 1 formando conjuntos difusos, además las funciones de membresía indican el grado de pertenencia de cada valor a cada conjunto difuso.

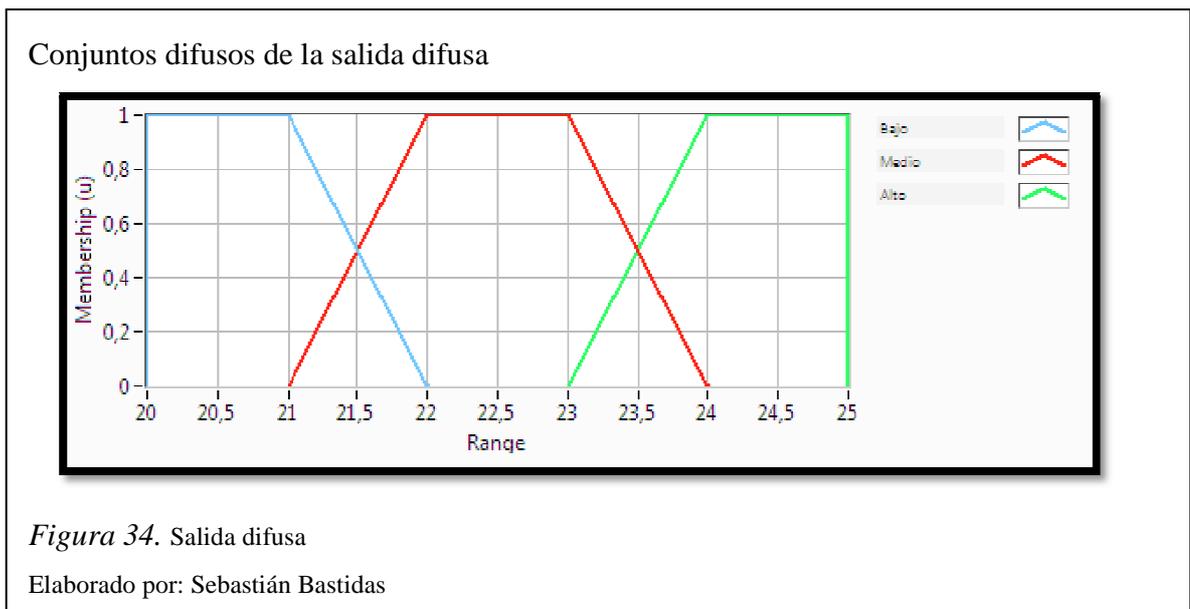
La Figura 32, representa a la entrada número uno del sistema difuso se estableció al acabado ò terminado deseado del producto; los acabados que el producto puede tener son: mate, semi-brillante y brillante.



La Figura 33, representa a la entrada número dos del sistema difuso está constituida por el tipo de pintura con el cual se pinto el producto; los tipos de pintura que a elegir son: epoxi, poliéster e híbrido.



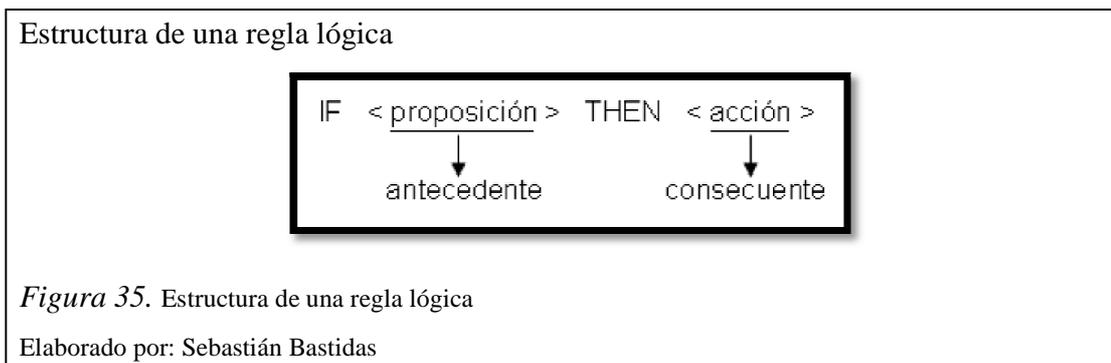
El sistema posee una salida, la misma que se observa en la Figura 34, la cual determinará el tiempo de curado según los parámetros seleccionados en las entradas difusas.



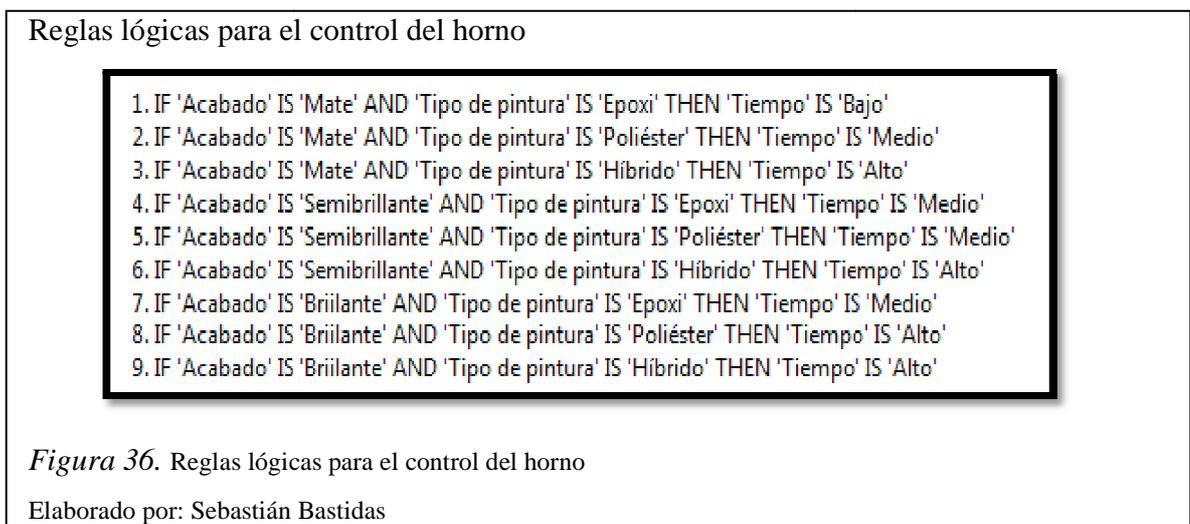
Inferir es la capacidad de construir conclusiones apropiadas, frente a una evidencia dada; de esta manera inicia desde algo conocido hasta lograr una conclusión desconocida, a este proceso se denomina un motor de búsqueda que tiene la capacidad de decidir en base al conocimiento.

“Una base de conocimientos contiene toda la información de la aplicación que se va a controlar” (Ponce, 2010)

Una regla es un criterio de condición que representa conocimiento; las reglas se pueden formar con diferentes operadores como: AND, OR, NOT como se observa en la Figura 35.



En la Figura 36 se presenta las reglas lógicas para el control del horno de curado.



Para relacionar las reglas lógicas con la salida se utiliza una memoria asociativa fuzzy (F.A.M.) en este caso una bidimensional ya que está compuesta de dos entradas y una salida y se muestra en la Figura 37.

Memoria Asociativa Fuzzy

Pintura Acabado	Epoxi	Poliéster	Hibrido
Mate	Bajo	Medio	Alto
Semibrillante	Medio	Medio	Alto
Brillante	Medio	Alto	Alto

Salida = Tiempo en minutos

Figura 37. Memoria Asociativa Fuzzy
Elaborado por: Sebastián Bastidas

La defusificación consiste en generar valores numéricos concretos de variables que se asignan a la salida por medio de métodos matemáticos; el método elegido es el centro de área debido a que retorna el centro de gravedad del polígono que se generó en la inferencia generando un control de temperatura más suave.

3.6.6. Análisis de datos obtenidos del diseño de la lógica difusa

Con la ayuda del software Labview se realiza la simulación del sistema difuso, el resultado se observa en la Figura 38.

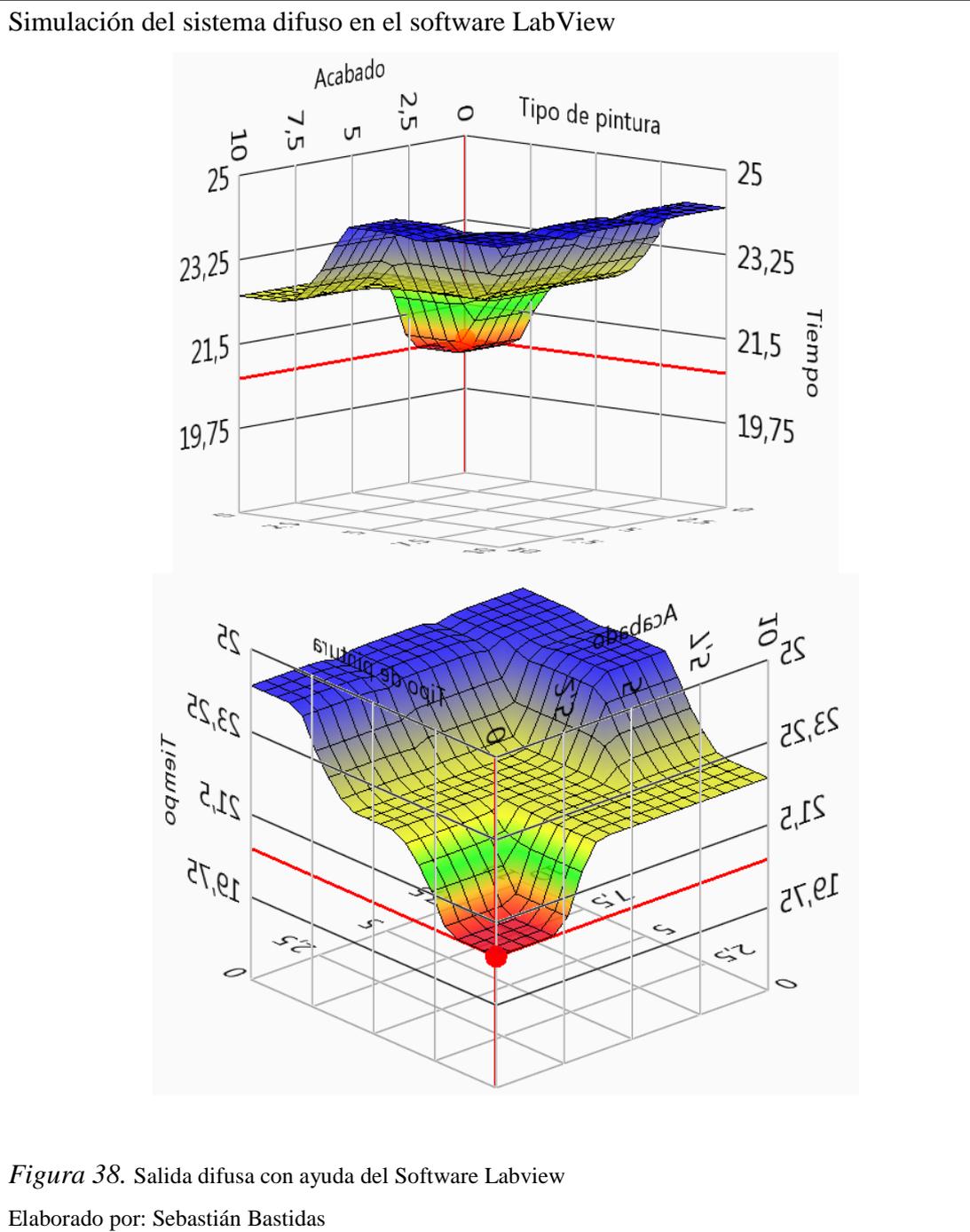


Figura 38. Salida difusa con ayuda del Software Labview

Elaborado por: Sebastián Bastidas

En la Tabla 6, se realiza la comparación de los valores obtenidos en el software LabView Figura 38, frente a los valores obtenidos en el PLC SIMATIC S7 – 1200, así mismo las capturas de pantalla se muestran en la Figura 39, tanto de la simulación en software así como los valores obtenidos en tiempo real en la Figura 42, por parte del PLC mediante la visualización en el software Total Integrated Automation Portal V13 de Siemens.

Tabla 5.

Error de medición entre el software LabView y los valores obtenidos en el PLC

Tipo de Pintura	Tipo de Acabado	Labview Software	TIA V13 Hardware	Error
0	0	20,7782	20,70333	0,36%
0	2	20,7782	20,70333	0,36%
0	4	22,4993	21,28204	5,72%
0	6	22,4993	21,28204	5,72%
0	8	22,4993	21,28204	5,72%
0	10	22,4993	21,28204	5,72%
2	0	20,7782	20,70776	0,34%
2	2	20,7782	20,70776	0,34%
2	4	22,4993	22,83526	1,47%
2	6	22,4993	22,83526	1,47%
2	8	22,4993	22,83526	1,47%
2	10	22,4993	22,83526	1,47%
4	0	22,4993	22,84042	1,49%
4	2	22,4993	22,84042	1,49%
4	4	22,4993	22,84042	1,49%
4	6	22,4993	22,84042	1,49%
4	8	24,222	24,73234	2,06%
4	10	24,222	24,73234	2,06%
6	0	22,4993	22,59444	0,42%
6	2	22,4993	22,59444	0,42%
6	4	22,4993	22,59444	0,42%
6	6	22,4993	22,59444	0,42%
6	8	24,222	24,72963	2,05%
6	10	24,222	24,73204	2,06%
8	0	24,222	24,74845	2,13%
8	2	24,222	24,74845	2,13%
8	4	24,222	24,74845	2,13%

8	6	24,222	24,74845	2,13%
8	8	24,222	24,72963	2,05%
8	10	24,222	24,763	2,18%
10	0	24,222	24,74845	2,13%
10	2	24,222	24,74845	2,13%
10	4	24,222	24,74845	2,13%
10	6	24,222	24,74845	2,13%
10	8	24,222	24,74845	2,13%
10	10	24,222	24,74845	2,13%

Tipo de Acabado		Tipo de Pintura	
0	Mate	0	Epoxi
2	Mate	2	Epoxi
4	Semibrillante	4	Poliéster
6	Semibrillante	6	Poliéster
8	Brillante	8	Hibrido
10	Brillante	10	Hibrido

Nota. En las dos tablas finales se muestran la equivalencia de los valores de la tabla que mide el error entre el software LabView y los valores obtenidos en el PLC

Elaborado por: Sebastián Bastidas

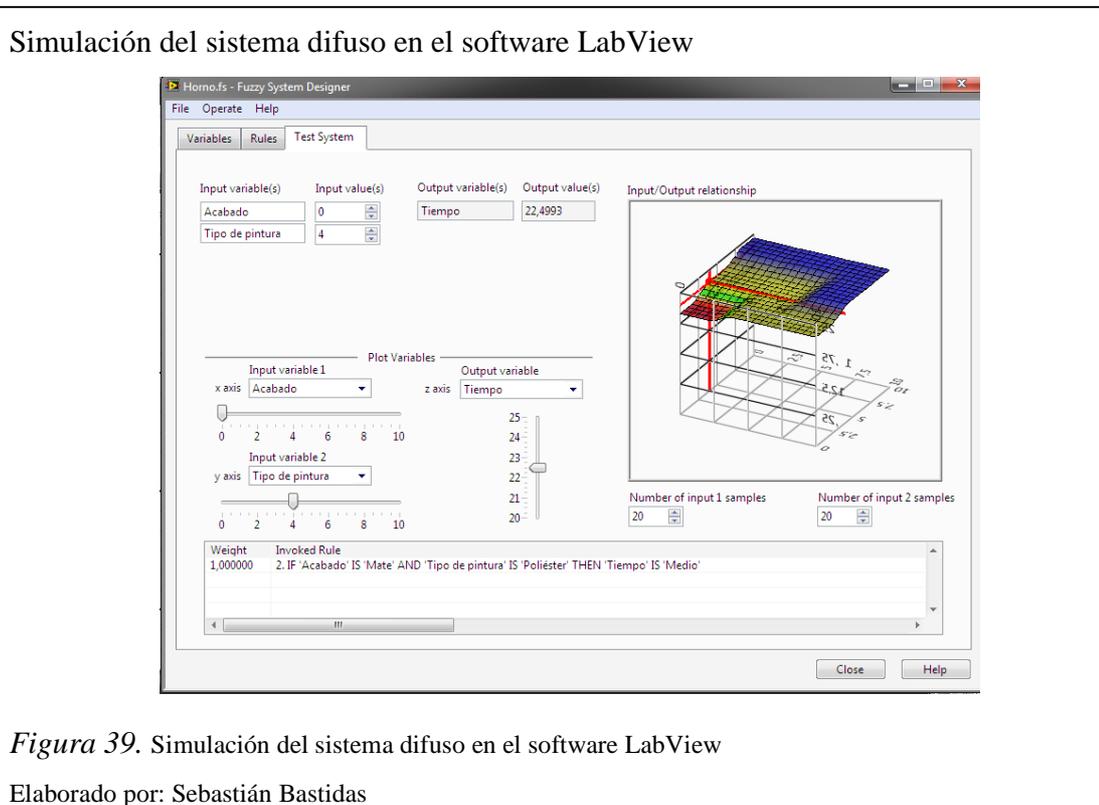


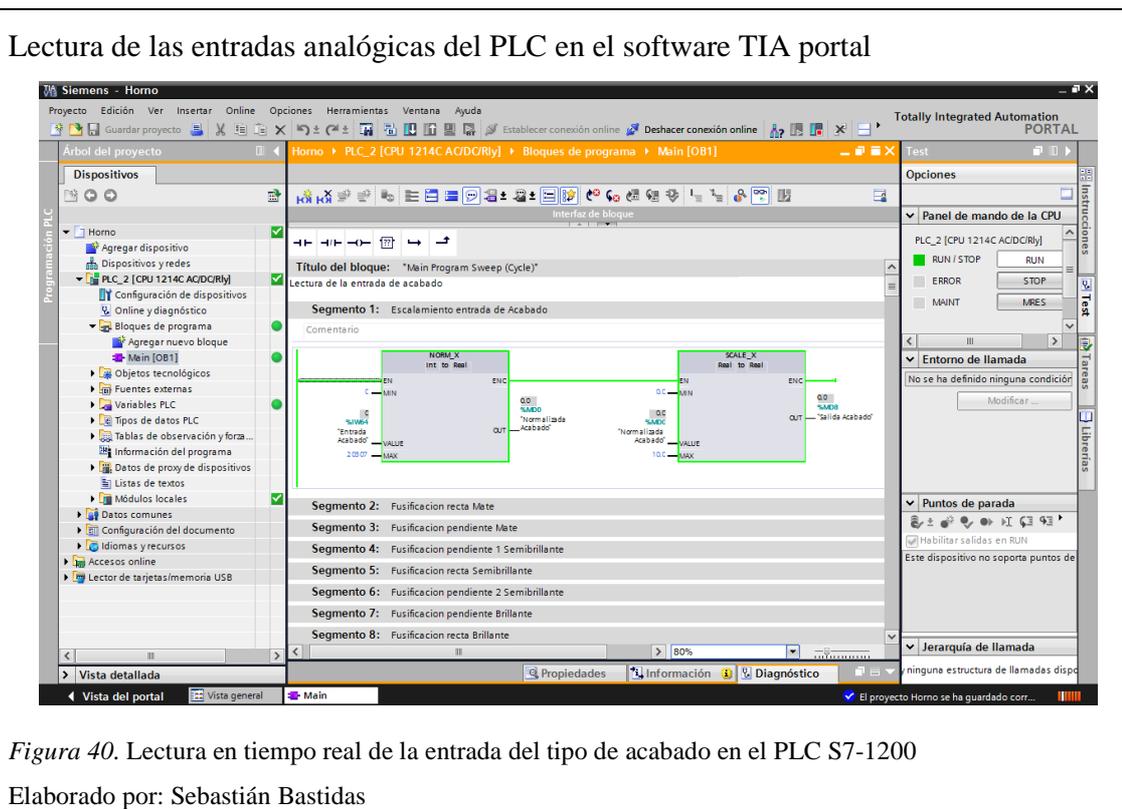
Figura 39. Simulación del sistema difuso en el software LabView

Elaborado por: Sebastián Bastidas

Mediante el software LabView se puede simular el comportamiento de un sistema difuso, con esta herramienta se logra ingresar el valor de las entradas para obtener el valor de salida difusa en este caso en la entrada de acabado se ingresa el valor de 0 y el valor del tipo de pintura es igual a 4, con los datos de entrada ingresados el sistema da como salida difusa el valor de 22.4993.

Con el uso del software de programación Total Integrated Automation Portal V13 de Siemens se puede observar en tiempo real los valores de las entradas analógicas que ingresan al PLC SIMATIC S7 – 1200; los valores de la entrada del tipo de acabado, así como del tipo de pintura se muestran a continuación.

El valor mostrado en la Figura 40, corresponde a la entrada del tipo de acabado en la entrada analógica 0 el mismo que tiene el valor de 0.



El valor mostrado en la Figura 41, corresponde a la entrada del tipo de pintura en la entrada analógica 1 el mismo que tiene el valor de 4.

Lectura de las entradas analógicas del PLC en el software TIA portal

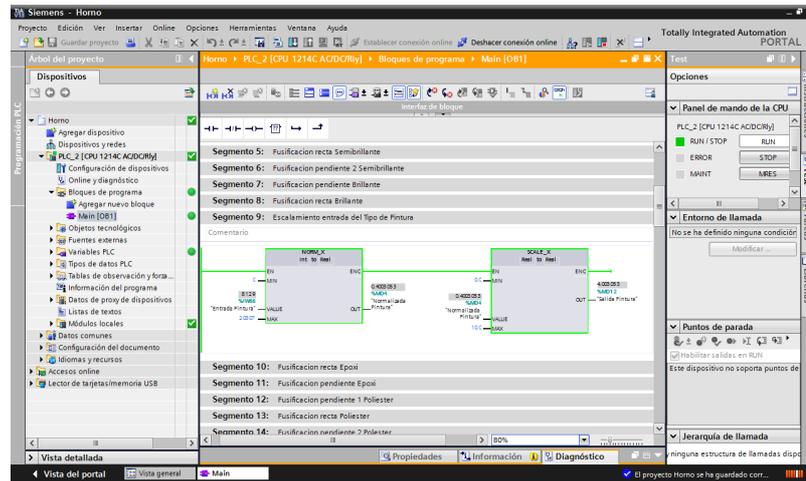


Figura 41. Lectura en tiempo real de la entrada del tipo de pintura en el PLC S7-1200

Elaborado por: Sebastián Bastidas

El valor mostrado en la Figura 42, corresponde a la salida difusa del sistema la misma que tiene el valor de 21.28204.

Lectura del cálculo del tiempo en el PLC en el software TIA portal

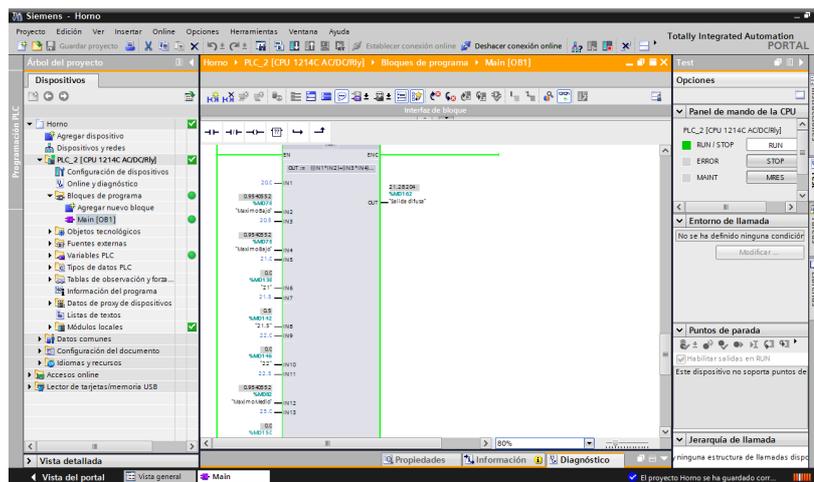


Figura 42. Lectura de la salida difusa obtenido en tiempo real en el PLC S7-1200

Elaborado por: Sebastián Bastidas

Mediante el software LabView se consigue establecer diferentes valores en las entradas para obtener la salida difusa del sistema; en este caso en la entrada de acabado se ingresa el valor de 4 y el valor del tipo de pintura es igual a 8, con los datos de entrada ingresados el sistema da como salida difusa el valor de 24.222, la simulación se observa en la Figura 43.

Simulación del sistema difuso en el software LabView

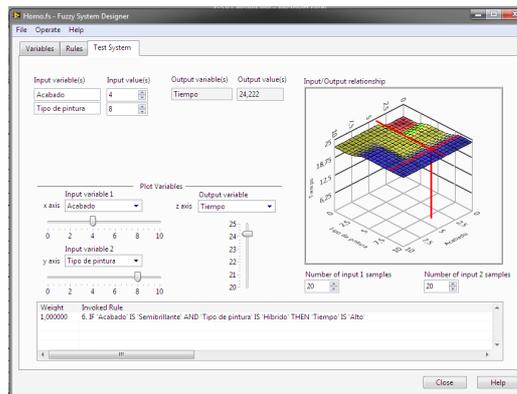


Figura 43. Simulación del sistema difuso en el software LabView

Elaborado por: Sebastián Bastidas

El valor mostrado en la Figura 44, corresponde a la entrada del tipo de acabado en la entrada analógica 0 el mismo que tiene el valor de 4.

Lectura de las entradas analógicas del PLC en el software TIA portal

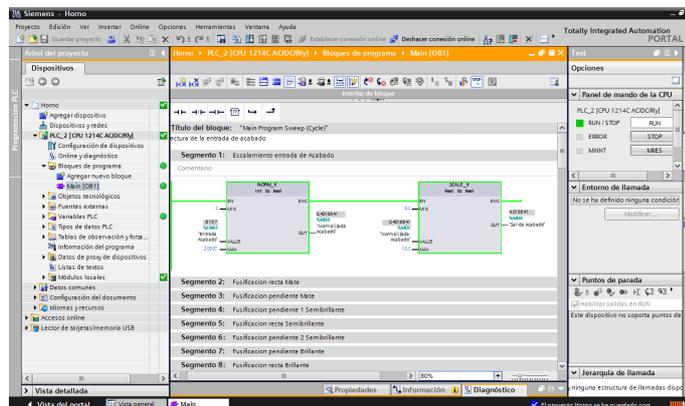


Figura 44. Lectura en tiempo real de la entrada del tipo de acabado en el PLC S7-1200

Elaborado por: Sebastián Bastidas

El valor mostrado en la Figura 45, corresponde a la entrada del tipo de acabado en la entrada analógica 0 el mismo que tiene el valor de 8.

Lectura de las entradas analógicas del PLC en el software TIA portal

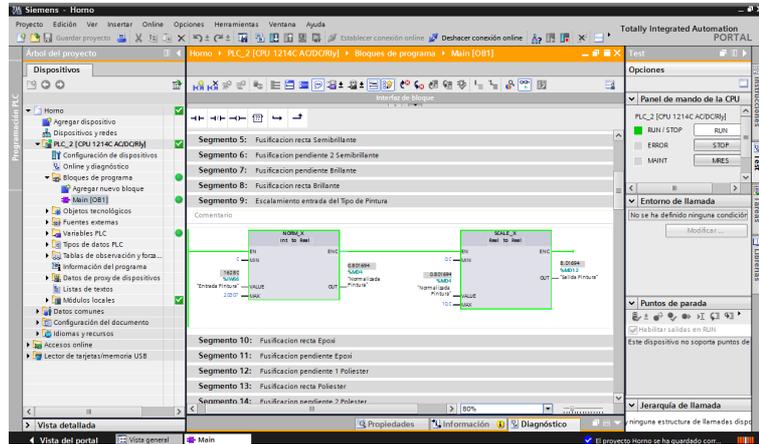


Figura 45. Lectura en tiempo real de la entrada del tipo de pintura en el PLC S7-1200

Elaborado por: Sebastián Bastidas

El valor mostrado en la Figura 46, corresponde a la entrada del tipo de acabado en la entrada analógica 0 el mismo que tiene el valor de 24.73234.

Lectura del cálculo del tiempo en el PLC en el software TIA portal

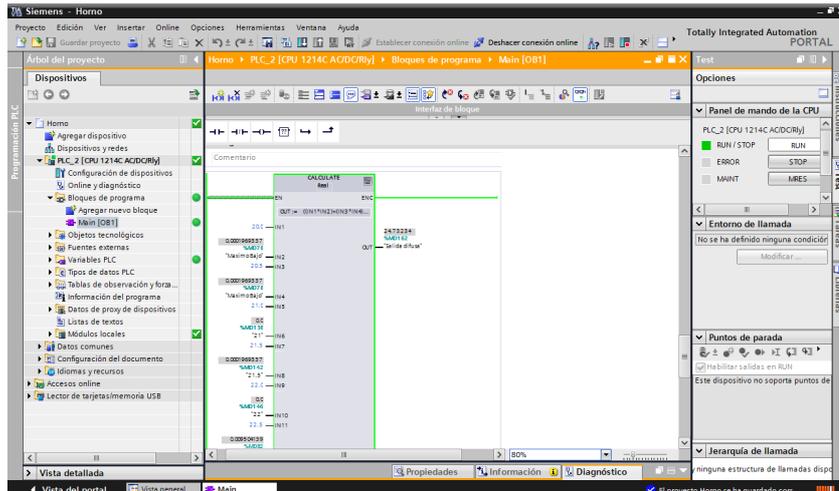
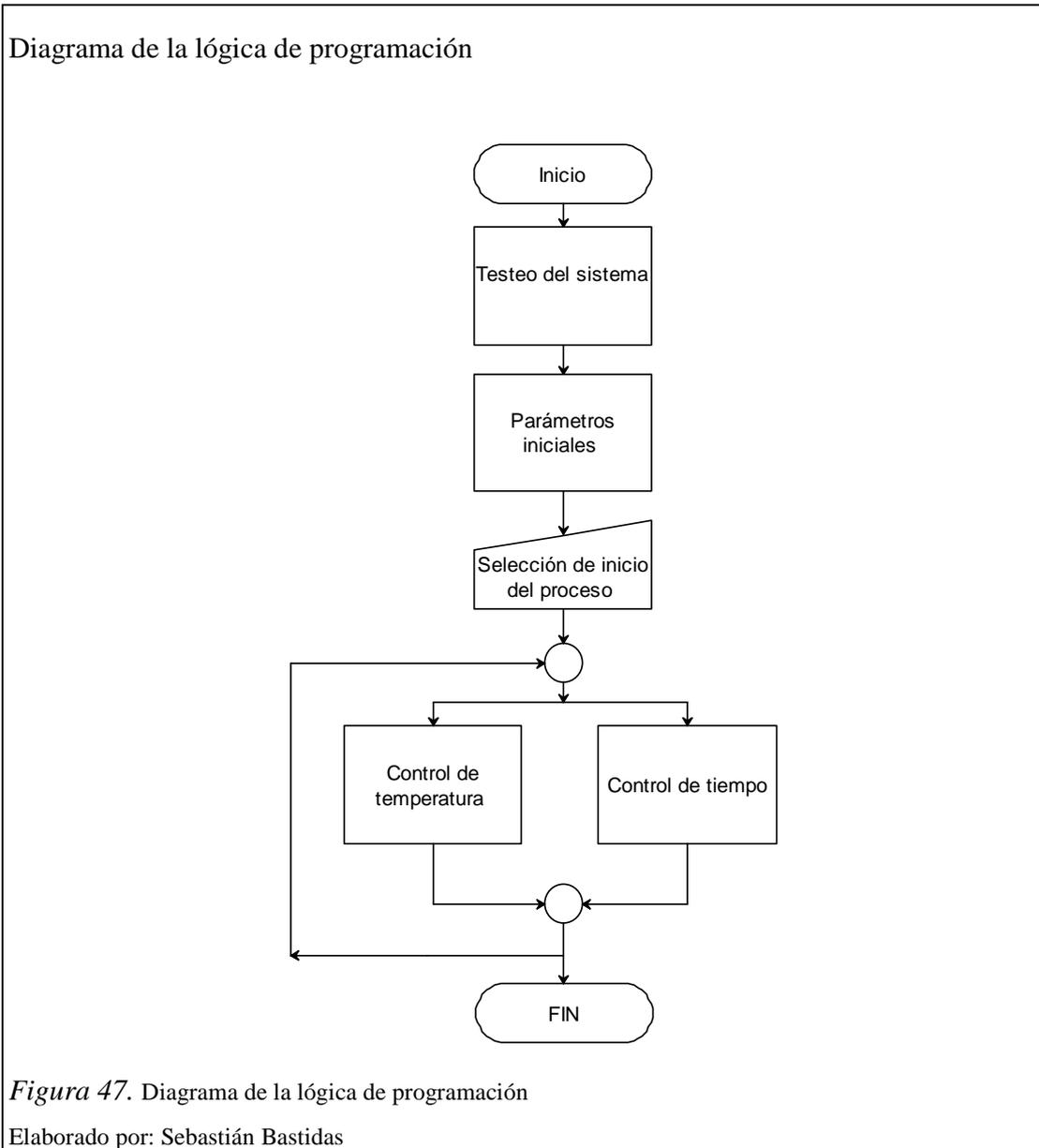


Figura 46. Lectura de la salida difusa obtenido en tiempo real en el PLC S7-1200

Elaborado por: Sebastián Bastidas

3.6.7. Diseño de la lógica de programación

En la Figura 47, se presenta la lógica de programación que describe el proceso que realiza el horno para lograr el curado de la pintura electrostática.



La Figura 48, muestra los parámetros iniciales definen el tipo de acabado del producto a ser curado, asimismo se selecciona el tipo de pintura que recubre al producto.

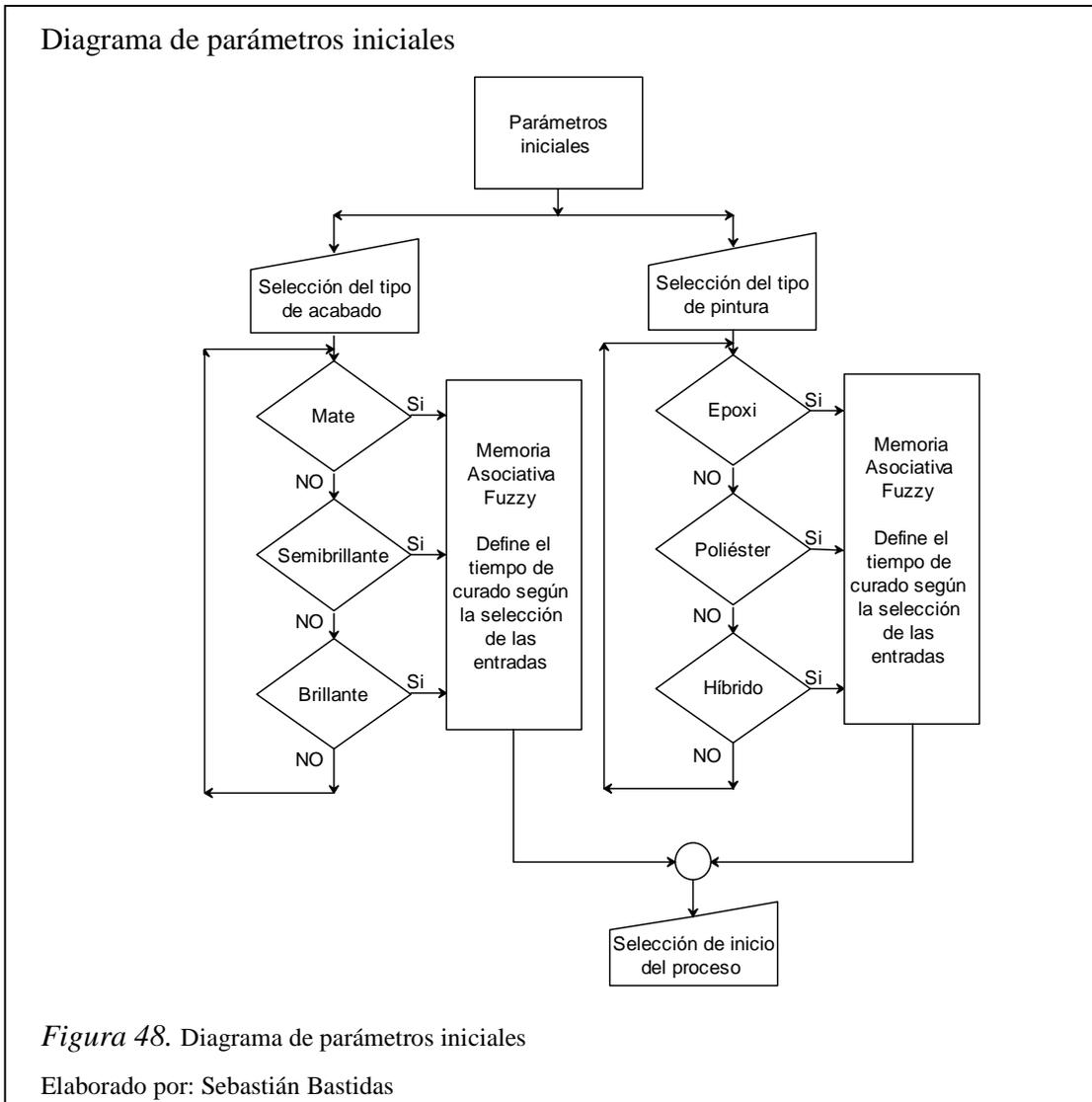


Figura 48. Diagrama de parámetros iniciales

La salida fuzzy define el tiempo de curado en función de las entradas seleccionadas se inicia el proceso a partir que el operario presione el botón de inicio y el tiempo de calentamiento ha terminado, el control de temperatura se establece el encendido escalonado de el sistema de calentamiento debido a que si eleva la temperatura de manera abrupta puede generar daños en el producto.

El detalle de la lógica de programación se puede apreciar en el anexo 7.

CAPITULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se detallan los parámetros de funcionamiento del horno además de las pruebas de funcionamiento con el propósito de evidenciar el correcto desempeño del horno de acuerdo a los parámetros fijados en el capítulo 3.

4.1. Parámetros de funcionamiento

Para iniciar la operación del horno se debe leer el anexo 4 en el cual se detalla la operación del horno.

Los parámetros con los que funciona el horno se observa en la Tabla 7.

Tabla 6.

Parámetros de funcionamiento

Consumo de energía eléctrica por ciclo	18 kWh
Tiempo de calentamiento	20 min
Tiempo de curado	20 – 25 min
Tiempo de enfriamiento	15 min
Temperatura de operación	20 - 200 °C

Nota. Se muestra los tiempos de funcionamiento, consumo de energía eléctrica y la temperatura de operación.

Elaborado por: Sebastián Bastidas

Las pruebas en el horno de curado de pintura electrostática se llevaran a cabo de la siguiente manera:

- Seleccionar el tipo de acabado.
- Seleccionar el tipo de pintura.

- Presionar el botón INICIO para que el proceso comience.
- El horno en los primeros 20 minutos entra en la fase de calentamiento hasta lograr aproximadamente los 160 °C momento en el cual inicia el tiempo de curado, este tiempo varía según el tipo de pintura y el tipo de acabado seleccionado al inicio del proceso; una vez concluido el tiempo de curado el horno ingresa en la etapa de enfriamiento que dura alrededor de 10 a 15 minutos, culminado este tiempo el proceso de curado a finalizado y se puede extraer las piezas del horno.

Una vez que las piezas salgan del horno se procede a realizar las siguientes pruebas:

- **Rayado.-** Consiste en rayar la pieza curada con una punta dura y con filo si se descascara es evidente que falta tiempo de curado.
- **Frotación.-** Se debe humedecer un paño con thinner y frotar unas 10 veces sobre la pieza curada si el paño se mancha de pintura significa que faltó tiempo de curado.

4.2. Tabulación de datos

Para realizar la adquisición de datos se pone en marcha el proceso, el sensor de temperatura RTD PT100 se coloca en el centro del techo del interior del horno.

Los datos de la Tabla 7, se realizan con el horno vacío y seleccionado el tipo de pintura epoxi y el tipo de acabado mate registrando los valores de temperatura obtenidos al interior del horno.

Tabla 7.

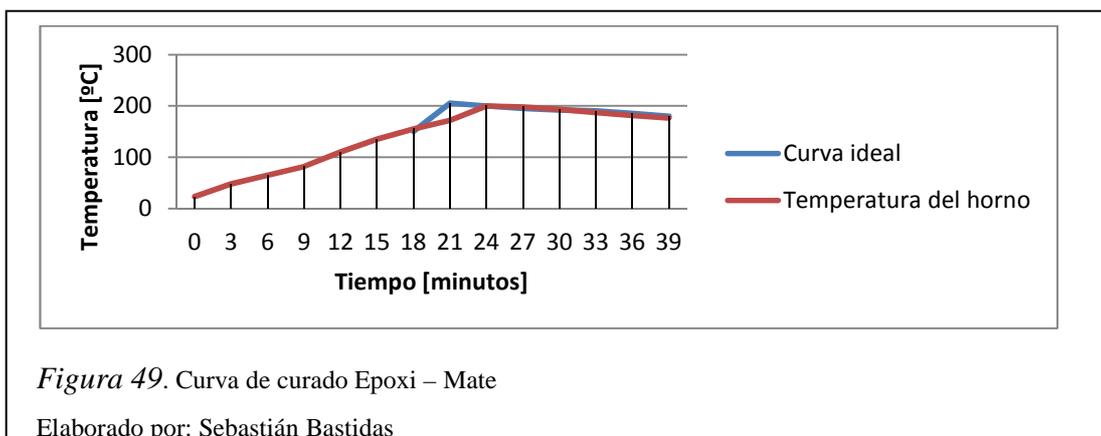
Medición de temperatura en el horno con pintura epoxi y acabado mate

Epoxi - Mate			
Tiempo	Temperatura		Etapa
Minutos	Curva ideal	Temperatura del horno	
0		23	Calentamiento
3		48	
6		65	
9		82	
12		110	
15		135	
18	150	155	Curado
21	205	172	
24	200	200	
27	195	198	
30	192	193	
33	190	187	
36	185	181	
39	180	176	

Nota. La tabla muestra la temperatura obtenida en el interior del horno en función del tiempo.

Elaborado por: Sebastián Bastidas

El horno alcanza la temperatura de curado a los 18 minutos, a partir de ese tiempo la temperatura de curado debe estar entre los 190 °C y 200 °C durante 21 minutos los valores son representados en la Figura 49, después de cumplir este tiempo inicia la etapa de enfriamiento para esto se desconectan las resistencias y se enciende el sistema de ventilación.



Los datos de la Tabla 8, se realizan con el horno vacío y seleccionado el tipo de pintura epoxi y el tipo de acabado semibrillante registrando los valores de temperatura obtenidos al interior del horno.

Tabla 8.

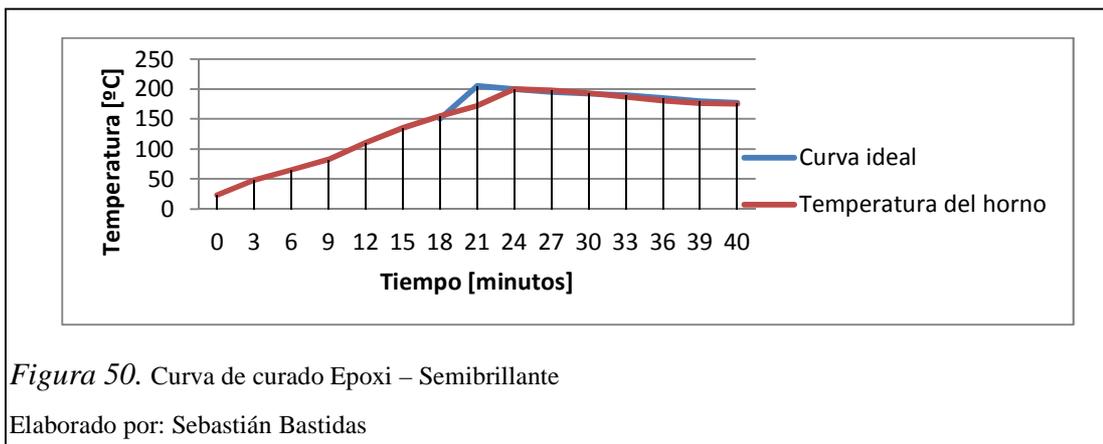
Medición de temperatura en el horno con pintura epoxi y acabado semibrillante

Epoxi - Semibrillante			
Tiempo	Temperatura		Etapa
Minutos	Curva ideal	Temperatura del horno	
0		23	Calentamiento
3		48	
6		65	
9		82	
12		110	
15		135	
18	150	155	Curado
21	205	172	
24	200	200	
27	195	198	
30	192	193	
33	190	187	
36	185	181	
39	180	176	
40	177	175	

Nota. La tabla muestra la temperatura obtenida en el interior del horno en función del tiempo.

Elaborado por: Sebastián Bastidas

El horno alcanza la temperatura de curado a los 18 minutos, a partir de ese tiempo la temperatura de curado debe estar entre los 190 °C y 200 °C durante 22 minutos los valores son representados en la Figura 50, después de cumplir este tiempo inicia la etapa de enfriamiento para esto se desconectan las resistencias y se enciende el sistema de ventilación.



Los datos de la Tabla 9, se realizan con el horno vacío y seleccionado el tipo de pintura epoxi y el tipo de acabado brillante registrando los valores de temperatura obtenidos al interior del horno.

Tabla 9.

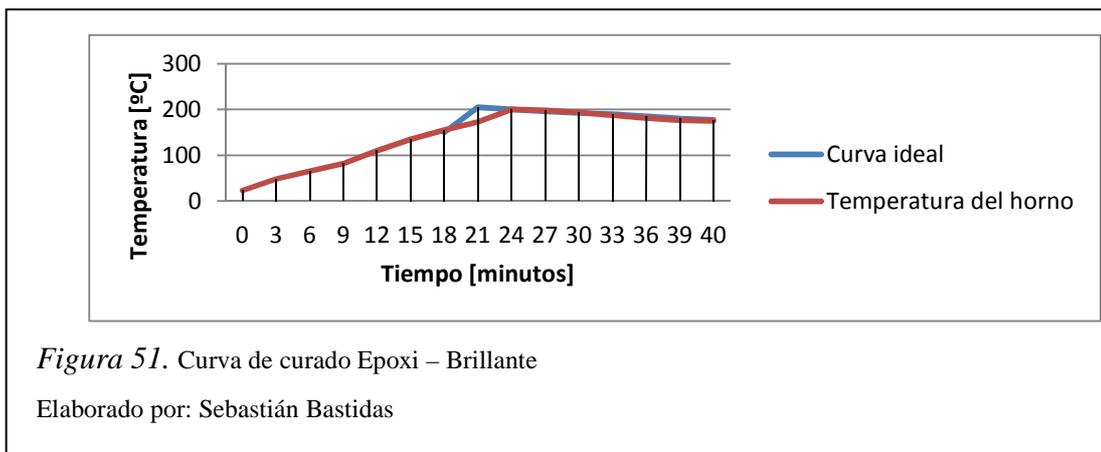
Medición de temperatura en el horno con pintura epoxi y acabado brillante

Epoxi - Brillante			
Tiempo	Temperatura		Etapa
Minutos	Curva ideal	Temperatura del horno	
0		23	Calentamiento
3		48	
6		65	
9		82	
12		110	
15		135	
18	150	155	Curado
21	205	172	
24	200	200	
27	195	198	
30	192	193	
33	190	187	
36	185	181	
39	180	176	
40	177	175	

Nota. La tabla muestra la temperatura obtenida en el interior del horno en función del tiempo.

Elaborado por: Sebastián Bastidas

El horno alcanza la temperatura de curado a los 18 minutos, a partir de ese tiempo la temperatura de curado debe estar entre los 190 °C y 200 °C durante 22 minutos los valores son representados en la Figura 51, después de cumplir este tiempo inicia la etapa de enfriamiento para esto se desconectan las resistencias y se enciende el sistema de ventilación.



Los datos de la Tabla 10, se realizan con el horno vacío y seleccionado el tipo de pintura poliéster y el tipo de acabado mate registrando los valores de temperatura obtenidos al interior del horno.

Tabla 10.

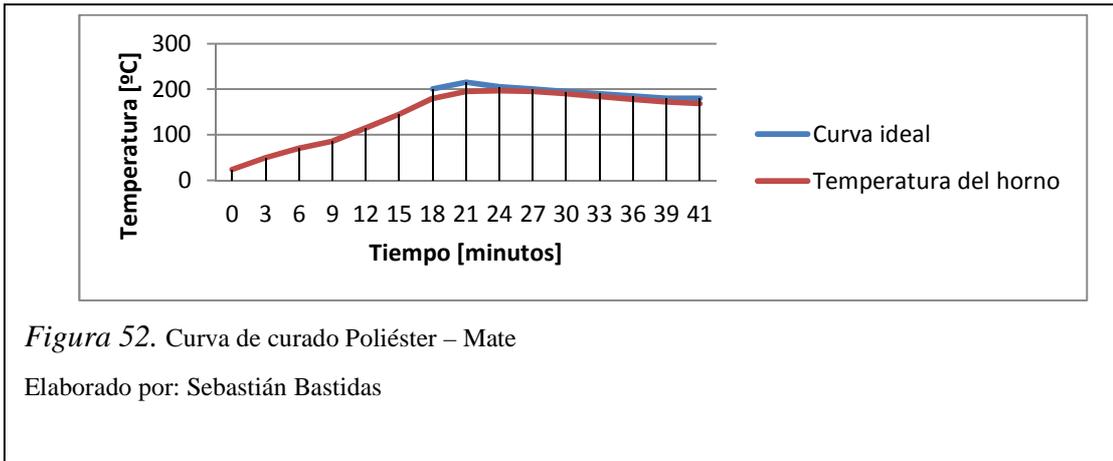
Medición de temperatura en el horno con pintura poliéster y acabado mate

Poliéster - Mate			
Tiempo	Temperatura		Etapa
Minutos	Curva ideal	Temperatura del horno	
0		24	Calentamiento
3		50	
6		70	
9		86	
12		115	
15		145	
18	200	180	Curado
21	205	195	
24	200	197	
27	200	195	
30	195	190	
33	190	184	
36	185	178	
39	180	172	
41	180	168	

Nota. La tabla muestra la temperatura obtenida en el interior del horno en función del tiempo.

Elaborado por: Sebastián Bastidas

El horno alcanza la temperatura de curado a los 18 minutos, a partir de ese tiempo la temperatura de curado debe estar entre los 180 °C y 195 °C durante 23 minutos los valores son representados en la Figura 52, después de cumplir este tiempo inicia la etapa de enfriamiento para esto se desconectan las resistencias y se enciende el sistema de ventilación.



Los datos de la Tabla 11, se realizan con el horno vacío y seleccionado el tipo de pintura poliéster y el tipo de acabado semibrillante registrando los valores de temperatura obtenidos al interior del horno.

Tabla 11.

Medición de temperatura en el horno con pintura poliéster y acabado semibrillante

Poliéster - Semibrillante			
Tiempo	Temperatura		Etapa
Minutos	Curva ideal	Temperatura del horno	
0		24	Calentamiento
3		50	
6		70	
9		86	
12		115	
15		145	
18	200	180	Curado
21	205	195	
24	205	197	
27	200	195	
30	195	190	
33	190	184	
36	185	178	
39	180	172	
42	180	166	

Nota. La tabla muestra la temperatura obtenida en el interior del horno en función del tiempo.

Elaborado por: Sebastián Bastidas

El horno alcanza la temperatura de curado a los 18 minutos, a partir de ese tiempo la temperatura de curado debe estar entre los 180 °C y 195 °C durante 24 minutos los valores son representados en la figura 53, después de cumplir este tiempo inicia la etapa de enfriamiento para esto se desconectan las resistencias y se enciende el sistema de ventilación.

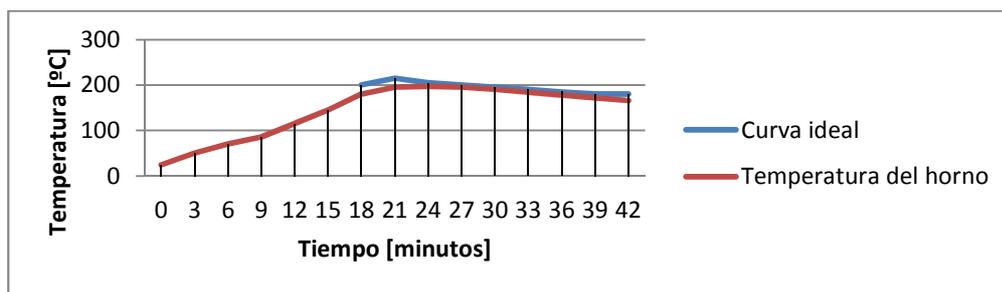


Figura 53. Curva de curado Poliéster – Semibrillante

Elaborado por: Sebastián Bastidas

Los datos de la Tabla 12, se realizan con el horno vacío y seleccionado el tipo de pintura poliéster y el tipo de acabado brillante registrando los valores de temperatura obtenidos al interior del horno.

Tabla 12.

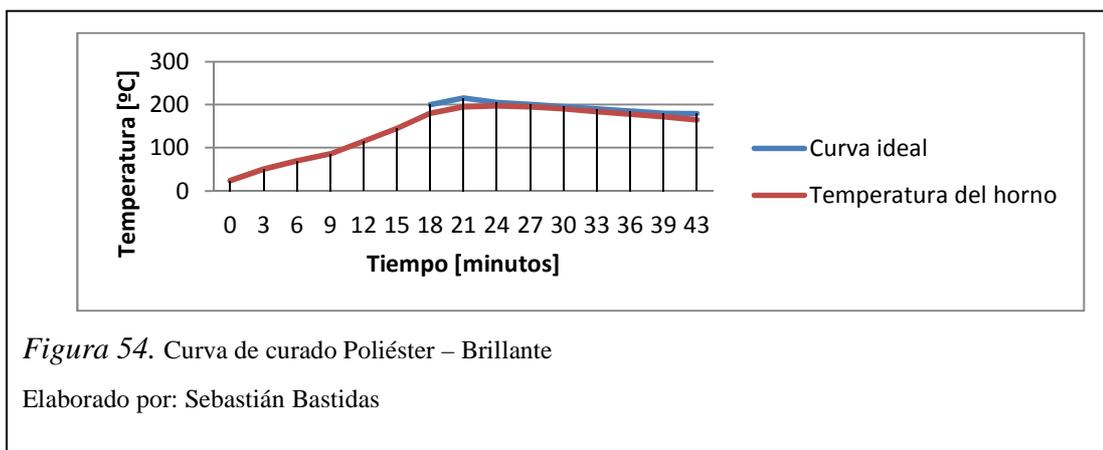
Medición de temperatura en el horno con pintura poliéster y acabado brillante

Poliéster - Brillante			
Tiempo	Temperatura		Etapa
Minutos	Curva ideal	Temperatura del horno	
0		24	Calentamiento
3		50	
6		70	
9		86	
12		115	
15		145	
18	200	180	Curado
21	205	195	
24	205	197	
27	200	195	
30	195	190	
33	190	184	
36	185	178	
39	180	172	
42	179	165	

Nota. La tabla muestra la temperatura obtenida en el interior del horno en función del tiempo.

Elaborado por: Sebastián Bastidas

El horno alcanza la temperatura de curado a los 18 minutos, a partir de ese tiempo la temperatura de curado debe estar entre los 180 °C y 195 °C durante 24 minutos los valores son representados en la Figura 54, después de cumplir este tiempo inicia la etapa de enfriamiento para esto se desconectan las resistencias y se enciende el sistema de ventilación.



Los datos de la Tabla 13, se realizan con el horno vacío y seleccionado el tipo de pintura híbrida y el tipo de acabado mate registrando los valores de temperatura obtenidos al interior del horno.

Tabla 13.

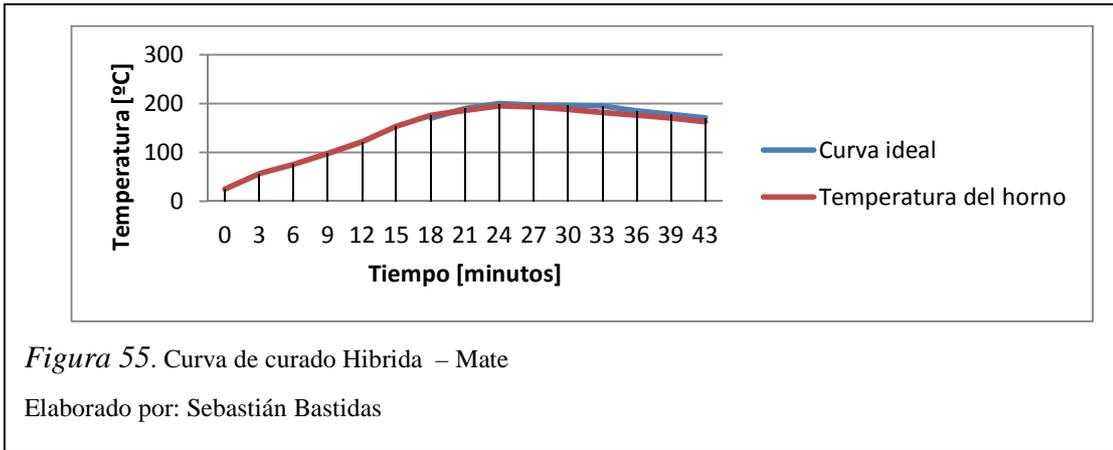
Medición de temperatura en el horno con pintura híbrida y acabado mate

Híbrida - Mate			
Tiempo	Temperatura		Etapa
Minutos	Curva ideal	Temperatura del horno	
0		25	Calentamiento
3		57	
6		76	
9		98	
12		122	
15		154	
18	170	176	Curado
21	190	186	
24	200	195	
27	197	193	
30	196	188	
33	195	182	
36	185	176	
39	178	170	
43	171	163	

Nota. La tabla muestra la temperatura obtenida en el interior del horno en función del tiempo.

Elaborado por: Sebastián Bastidas

El horno alcanza la temperatura de curado a los 18 minutos, a partir de ese tiempo la temperatura de curado debe estar entre los 178 °C y 200 °C durante 25 minutos los valores son representados en la Figura 55, después de cumplir este tiempo inicia la etapa de enfriamiento para esto se desconectan las resistencias y se enciende el sistema de ventilación.



Los datos de la Tabla 14, se realizan con el horno vacío y seleccionado el tipo de pintura híbrida y el tipo de acabado semibrillante registrando los valores de temperatura obtenidos al interior del horno.

Tabla 14.

Medición de temperatura en el horno con pintura híbrida y acabado semibrillante

Híbrida - Semibrillante			
Tiempo	Temperatura		Etapa
Minutos	Curva ideal	Temperatura del horno	
0		25	Calentamiento
3		57	
6		76	
9		98	
12		122	
15		154	
18	170	176	Curado
21	190	186	
24	200	195	
27	197	193	
30	196	188	
33	195	182	
36	185	176	
39	178	170	
43	171	163	

Nota. La tabla muestra la temperatura obtenida en el interior del horno en función del tiempo.

Elaborado por: Sebastián Bastidas

El horno alcanza la temperatura de curado a los 18 minutos, a partir de ese tiempo la temperatura de curado debe estar entre los 171 °C y 200 °C durante 25 minutos los valores son representados en la Figura 56, después de cumplir este tiempo inicia la etapa de enfriamiento para esto se desconectan las resistencias y se enciende el sistema de ventilación.

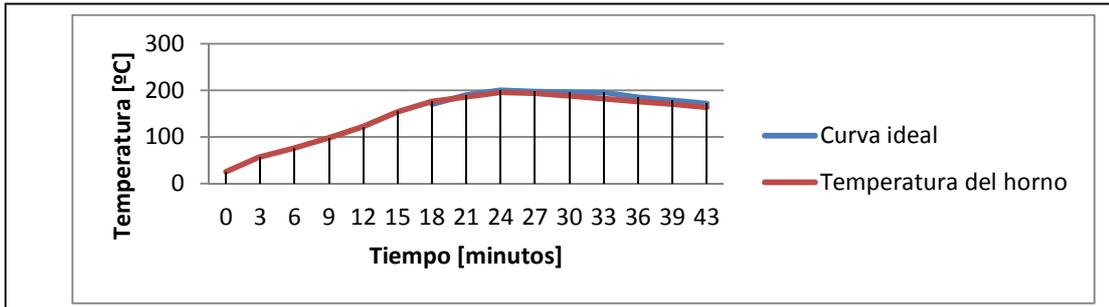


Figura 56. Curva de curado Híbrida – Semibrillante

Elaborado por: Sebastián Bastidas

Los datos de la Tabla 15, se realizan con el horno vacío y seleccionado el tipo de pintura híbrida y el tipo de acabado brillante registrando los valores de temperatura obtenidos al interior del horno.

Tabla 15.

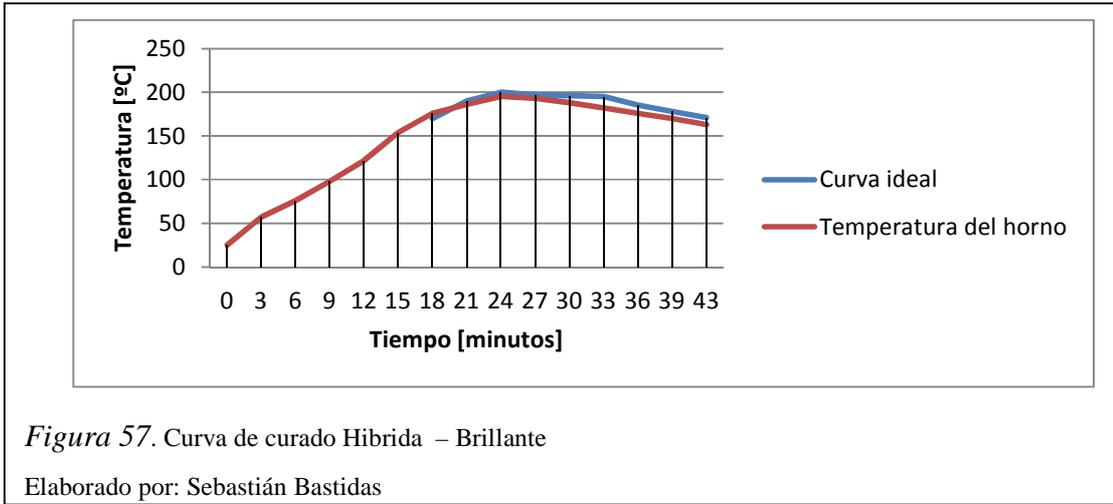
Medición de temperatura en el horno con pintura híbrida y acabado brillante

Híbrida - Brillante			
Tiempo	Temperatura		Etapa
Minutos	Curva ideal	Temperatura del horno	
0		25	Calentamiento
3		57	
6		76	
9		98	
12		122	
15		154	
18	170	176	Curado
21	190	186	
24	200	195	
27	197	193	
30	196	188	
33	195	182	
36	185	176	
39	178	170	
43	171	163	

Nota. La tabla muestra la temperatura obtenida en el interior del horno en función del tiempo.

Elaborado por: Sebastián Bastidas

El horno alcanza la temperatura de curado a los 18 minutos, a partir de ese tiempo la temperatura de curado debe estar entre los 171 °C y 200 °C durante 25 minutos los valores son representados en la Figura 57, después de cumplir este tiempo inicia la etapa de enfriamiento para esto se desconectan las resistencias y se enciende el sistema de ventilación.



4.3. Presupuesto

En la Tabla 16, se presenta un resumen de los costos de los materiales utilizados para construir el horno de curado de pintura electrostática.

Tabla 16.

Presupuesto para la construcción del horno de curado

Presupuesto		
Concepto	Detalle	Valor
Sistema de automatización	PLC	\$ 695,00
	Signal board	\$ 187,00
	Contactores	\$ 57,61
	Breakers	\$ 46,82
	Sensor PT100	\$ 69,98
	Otros	\$ 120,00
Sistema de ventilación	Ventilador	\$ 245,00
	Ductos	\$ 300,00
Sistema de calentamiento	Resistencias	\$ 360,00
Estructura metálica	Estructura interna	\$ 1.600,00
	Aislante	
	Estructura externa	
Total		\$ 3.681,41

Nota. Se muestra un resumen de los gastos efectuados para construir un horno de curado de pintura

Elaborado por: Sebastián Bastidas

En el presupuesto no constan los gastos de mano de obra y el uso de máquinas que se utilizó para la construcción del horno debido a que estos rubros fueron asumidos por la empresa TRIDIMENSIONAL.

El detalle de las proformas y facturas se encuentra en el anexo 13.

CONCLUSIONES

- El análisis del proceso de curado de piezas metálicas con pintura electrostática sirve para identificar las características de este tipo de pintura, en las cuales destacan la capacidad para reutilizar la pintura que cae en la zona de pintado, dicha zona debe estar aislada ya que para reutilizar la pintura no debe existir ningún componente de polvo u otros parecidos; asimismo al ser una pintura en polvo no necesita solventes para su disolución lo que reduce el riesgo de generar un incendio; el recubrimiento de la pieza metálica se realiza de manera eléctrica con equipo especializado que genera un acabado uniforme con un espesor que garantiza la durabilidad de la pieza pintada.
- El proceso de curado requiere que la temperatura presente en el interior del horno este dentro del rango establecido por el fabricante. En las pruebas realizadas los valores de temperatura que alcanza el horno en las distintas etapas calentamiento y curado se encuentran dentro del rango.
- Para lograr obtener una temperatura uniforme al interior del horno se implementa un sistema de ventilación, que se encarga de extraer el aire caliente del interior del horno y mediante ductos el aire ingresa nuevamente al horno, generando un flujo turbulento de aire que ayuda a estabilizar la temperatura y elimina los puntos fríos al interior del horno mediante el movimiento del aire.
- Se establece el control Fuzzy ya que el acabado de las piezas tiene un grado de vaguedad puesto que no tiene valores especificados, únicamente se define según lo observado en la práctica; además la lógica difusa permite controlar el sistema de tiempo de curado usando reglas lingüísticas simples de sentido común mediante la relación de entradas y salidas del sistema del horno.

- Se realiza la comparación entre la simulación del sistema difuso presente en la Figura 39, creado en el software LabView y los valores obtenidos en tiempo real en el PLC los cuales se muestran en la Tabla 6, lo que da como resultado un error de 5.72% en el cálculo del tiempo de curado; la existencia del error es consecuencia de la falta de precisión en el ingreso de valores por parte de los potenciómetros hacia el PLC, asimismo los cálculos que se realizan en el controlador están efectuados con operaciones básicas, por el contrario el software LabView posee herramientas de cálculo avanzadas que le permite realizar cálculos más exactos.
- Para obtener un tiempo de calentamiento en el horno menor a los 18 minutos , se precisa recurrir a resistencias eléctricas más eficientes y de potencia mayor a los 1.5 kW presentes en el sistema calentamiento actual, de esta manera se consigue que el tiempo de calentamiento y curado disminuyan creando un sistema más eficiente.
- La potencia total que requiere el horno de curado para su funcionamiento es de 18 kW, la potencia requerida por la carga es de 2.08 kW lo que significa que la mayor parte de la potencia del sistema esta destinada a contrarrestar las pérdidas de calor presentes en el horno.
- El sistema de calentamiento se encuentra dividido en tres partes, cada parte consta de cuatro resistencias eléctricas, el realizar la conexión de esta manera facilita el control de temperatura, ya que al desconectar el sistema parte por parte se consigue mantener la temperatura estable en diferentes rangos.
- Para realizar el control del horno se utiliza un PLC Simatic S7-1200 en lugar de un microcontrolador, debido a la robustez del controlador puesto que sus salidas son tipo relé, lo que permite utilizar un amplio rango de voltajes para los actuadores del horno.

RECOMENDACIONES

- Implementar un sistema de control para la regulación de la temperatura a través de las resistencias eléctricas de calentamiento en la etapa de curado.
- Si en lo posterior se requiere más tipos de acabado o más tipos de pintura únicamente se harían cambios en la programación de la lógica de control sin necesidad de hacer cambios en el hardware.
- Utilizar el horno a su máxima capacidad para evitar el desperdicio de energía.
- Se recomienda usar sensores de temperatura tipo RTD PT100 que proporcionan una buena linealidad para un amplio rango de temperaturas lo que permite realizar un control de temperatura preciso.
- Se recomienda para el ingreso de variables lingüísticas el uso de potenciómetros en las entradas analógicas del PLC, con el fin de evitar utilizar pulsadores, disminuir errores en la operación y manejo del horno, además de facilitar su uso.
- Se sugiere la implementación de un sistema HMI para visualizar la temperatura presente en el horno, además de observar la curva de temperatura en función del tiempo generada con los valores obtenidos en el interior del horno.
- Para determinar la potencia de las resistencias eléctricas necesarias para el calentamiento se debe considerar el calor a impartir al interior del horno y todas las pérdidas de calor. Estas pérdidas se deben a factores de convección y radiación en el horno, la conductividad térmica y el espesor de los materiales en la capa interna, capa de aislamiento y capa externa.

LISTA DE REFERENCIA

- Astigarraga Urquiza, J. *Hornos industriales de resistencias*. Madrid: McGraw-Hill.
- Fernández Silva, C., Armesto, I., Mandado Pérez, E., & Marcos Acevedo, J. (2010).
Autómatas programables y sistema de automatización.
- Francescutti, J - Pinturas en Polvo
- Incropera – Boles; *Transferencia de Calor y Masa*; Cuarta Edición; México 1999
- KERN, Donald; *Procesos de Transferencia de Calor*; Trigésima primera edición;
México 1999
- Kreith, F., Manglik, R. M., & Bohn, M. S. (2012). *Principios de transferencia de calor*.
Cengage Learning Editores.
- Llano Uribe, C - Artículo de Pintura en Polvo
- Manrique, J “Transferencia de calor” Segunda edición, Alfaomega 2002
- Pérez García, M. A., Álvarez, J. C., & Campo, J. C. (2004). Instrumentación electrónica.
España: Thomson.
- Ponce, C. P. (2010). Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería. *Alfaomega,*
México.
- Salvador Escoda Manual Práctico de Ventilación

ANEXOS

Anexo 1. Hoja técnica del PLC SIMATIC S7 – 1200



Función	CPU 1214C
Dimensiones físicas (mm)	110 x 100 x 75
Memoria de usuario	<ul style="list-style-type: none"> • Memoria de trabajo • Memoria de carga • Memoria remanente
E/S integradas locales	<ul style="list-style-type: none"> • 14 entradas/10 salidas • 2 entradas
Tamaño de la memoria imagen de proceso	1024 bytes para entradas (I) y 1024 bytes para salidas (Q)
Área de marcas (M)	8192 bytes
Ampliación con módulos de señales	8
Signal Board	1
Módulos de comunicación	3 (ampliación en el lado izquierdo)
Contadores rápidos	6
<ul style="list-style-type: none"> • Fase simple • Fase en cuadratura 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 a 100 kHz 3 a 30 kHz • 3 a 80 kHz 3 a 20 kHz
Salidas de impulsos	2
Memory Card	SIMATIC Memory Card (opcional)
Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real	Típico: 10 días / Mínimo: 6 días a 40 °C
PROFINET	1 puerto de comunicación Ethernet
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales	18 µs/instrucción
Velocidad de ejecución booleana	0,1 µs/instrucción

Anexo 2. Hoja técnica de la Signal board



Technical specifications	
Order number	6ES7231-5PA30-0XB0 SIGNAL BOARD SB 1231 RTD
Product type designation	
Supply voltage	
Rated value (DC)	
<ul style="list-style-type: none"> 24 V DC 	Yes
Input current	
Current consumption, typ.	5 mA
from backplane bus 5 V DC, typ.	20 mA
Power losses	
Power loss, typ.	0.5 W
Analog inputs	
Number of analog inputs	1; Resistance thermometer
permissible input frequency for current input (destruction limit), max.	± 35 V
Technical unit for temperature measurement adjustable	Degrees Celsius/degrees Fahrenheit
Input ranges	
<ul style="list-style-type: none"> Thermocouple 	No
<ul style="list-style-type: none"> Resistance thermometer 	Yes; Platinum (Pt)
<ul style="list-style-type: none"> Resistance 	Yes; 150 Ω, 300 Ω, 600 Ω
Input ranges (rated values), voltages	
<ul style="list-style-type: none"> Input resistance (-80 mV to +80 mV) 	≥ 10 MOhm
Input ranges (rated values), resistance thermometer	
<ul style="list-style-type: none"> Pt 100 	Yes
<ul style="list-style-type: none"> Input resistance (Pt 100) 	100 Ω
<ul style="list-style-type: none"> Pt 1000 	Yes
<ul style="list-style-type: none"> Input resistance (Pt 1000) 	1 000 Ω
<ul style="list-style-type: none"> Pt 200 	Yes
<ul style="list-style-type: none"> Input resistance (Pt 200) 	200 Ω
<ul style="list-style-type: none"> Pt 500 	Yes
<ul style="list-style-type: none"> Input resistance (Pt 500) 	500 Ω
Input ranges (rated values), resistors	
<ul style="list-style-type: none"> 0 to 150 Ohm 	Yes
<ul style="list-style-type: none"> 0 to 300 Ohm 	Yes
<ul style="list-style-type: none"> 0 to 600 Ohm 	Yes
Thermocouple (TC)	
Temperature compensation	

Analog outputs	
Number of analog outputs	0
Analog value creation	
Measurement principle	integrating
Integration and conversion time/resolution per channel	
<ul style="list-style-type: none"> Resolution with overrange (bit including sign), max. 	15 bit; + sign
<ul style="list-style-type: none"> Integration time, parameterizable 	No
<ul style="list-style-type: none"> Interference voltage suppression for interference frequency f_1 in Hz 	85 dB at 10 / 50 / 60 / 400 Hz
Errors/accuracies	
Repeat accuracy in steady state at 25 °C (relative to output area), (+/-)	0.05 %
Interference voltage suppression for $f = n \times (f_1 \pm 1 \%)$, $f_1 =$ interference frequency	
<ul style="list-style-type: none"> Common mode interference, min. 	120 dB
Interrupts/diagnostics/status information	
Alarms	
<ul style="list-style-type: none"> Alarms 	Yes
<ul style="list-style-type: none"> Diagnostic alarm 	Yes
Diagnostic messages	
<ul style="list-style-type: none"> Diagnostic functions 	Yes; Can be read out
<ul style="list-style-type: none"> Wire break 	Yes
Diagnostics indication LED	
<ul style="list-style-type: none"> for status of the inputs 	Yes
<ul style="list-style-type: none"> for maintenance 	Yes
Degree and class of protection	
Degree of protection to EN 60529	
<ul style="list-style-type: none"> IP20 	Yes
Standards, approvals, certificates	
CE mark	Yes
RCM (formerly C-TICK)	Yes
FM approval	Yes
Ambient conditions	
Free fall	
<ul style="list-style-type: none"> Drop height, max. (in packaging) 	0.3 m; five times, in dispatch package
Ambient temperature in operation	
<ul style="list-style-type: none"> Permissible temperature range 	0 °C to 55 °C horizontal installation, 0 °C to 45 °C vertical installation

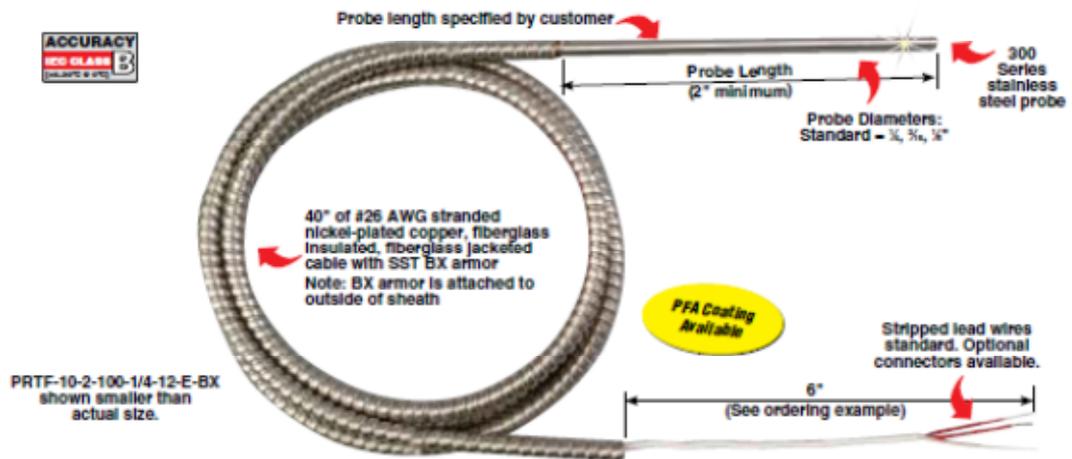
Anexo 3. Hoja técnica del sensor de temperatura RTD PT100

General Purpose RTD Probes

With Stainless Steel BX Armor Cable for Industrial Applications

Standard Dimension

- ✓ Transitions Directly to Lead Wires (No Transitions Fitting)
- ✓ Compact Design for Applications with Space Restrictions
- ✓ Available in Standard and Metric Sizes
- ✓ Temperature Range: -50 to 500°C
- ✓ Precision Thin Film 100 or 1000 Ω, Class B DIN Platinum Elements per IEC60751 (alpha = 0.00385 Ω/Ω°C)
- ✓ 2-, 3-, 4-Wire Constructions Available
- ✓ All Sensors Supplied to IEC60751/ASTM E-1137 Color Codes



100 Ω Sensor

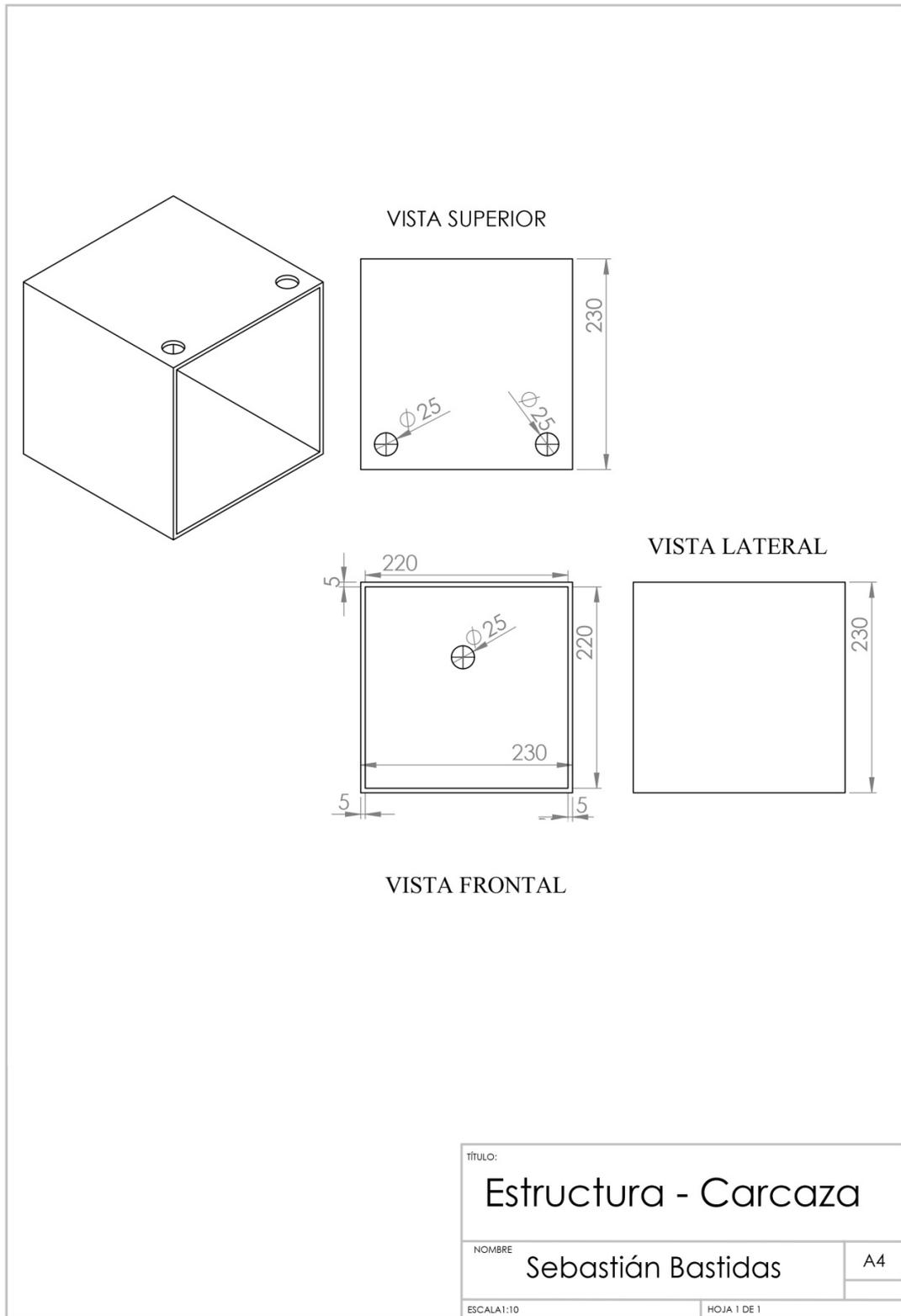
To Order		
Model Number	Lead Wire Style	Sheath Length
PRTF-10-2-100-(*)-6-E-BX	3 Wire	6"
PRTF-10-2-100-(*)-12-E-BX	3 Wire	12"
PRTF-10-2-100-(*)-18-E-BX	3 Wire	18"
PRTF-10-2-100-(*)-24-E-BX	3 Wire	24"

Anexo 4. Operación del horno

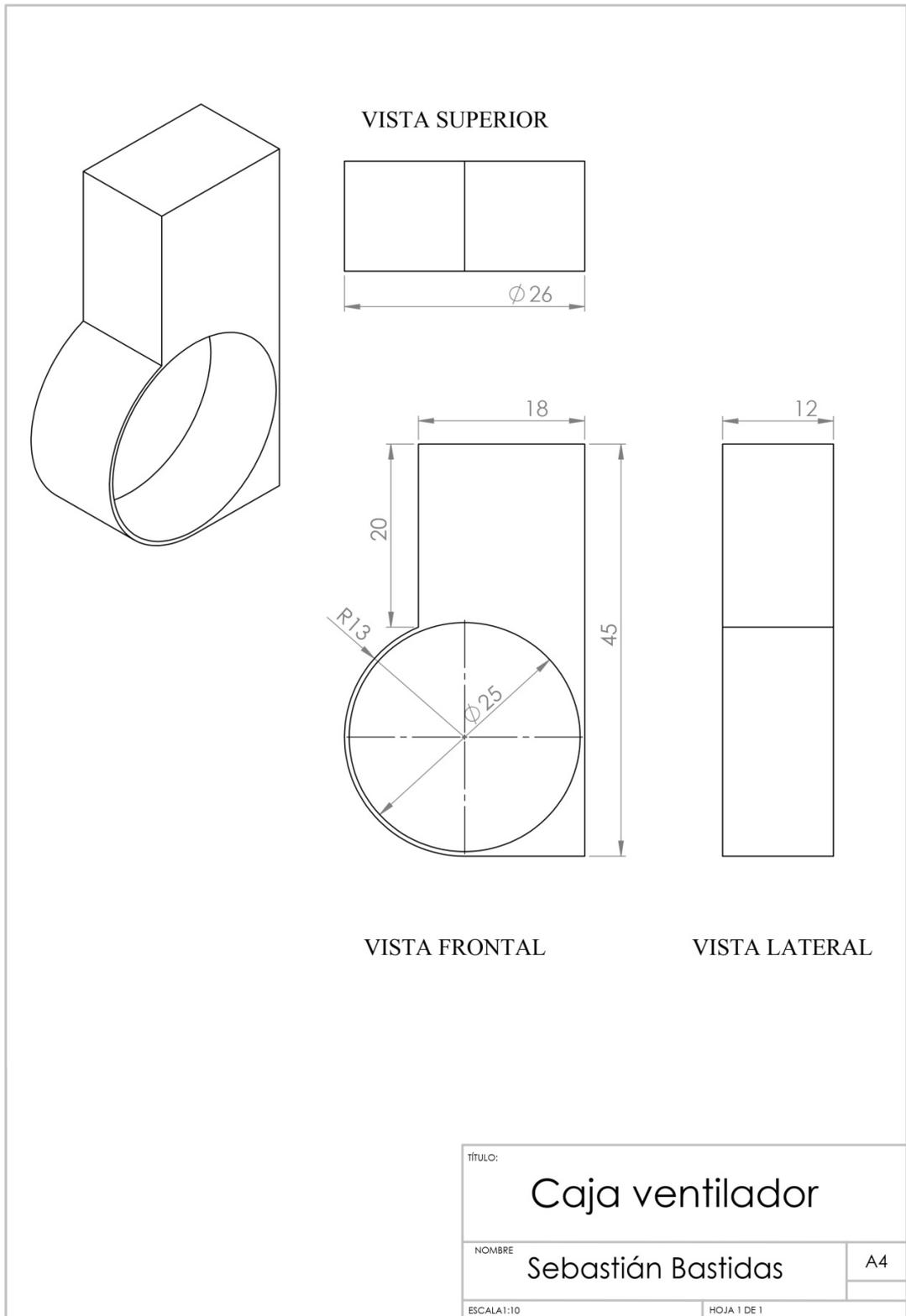
Para que el horno funcione de manera correcta se debe seguir las siguientes instrucciones en el orden definido a continuación.

1. Ingresar las partes pintadas al interior del horno sin que ellas tengan contacto con las resistencias eléctricas y sensor.
2. Verificar que la separación entre las piezas a ser curadas sea mayor de 5 centímetros para que el aire pueda circular entre ellas.
3. Cerrar las puertas del horno con las seguridades presentes.
4. Comprobar que los sistemas (calentamiento, control y ventilación) se encuentren con energía.
5. Seleccionar el tipo de acabado.
6. Seleccionar el tipo de pintura.
7. Pulsar el botón de INICIO para que empiece el proceso.
8. Evidenciar el ascenso de la temperatura mediante los indicadores, para confirmar el funcionamiento del sensor.
9. Esperar que se termine el proceso de curado para abrir las puertas y verificar la calidad de las piezas curadas.

Anexo 5. Planos de construcción del horno

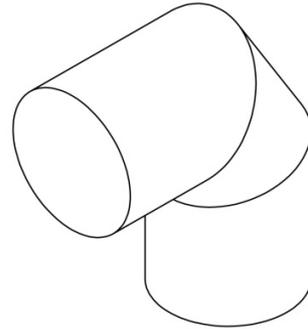
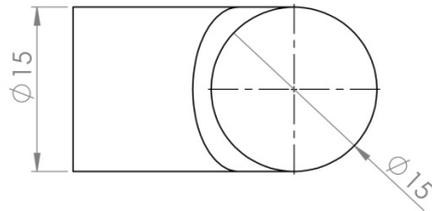


Caja ventilador

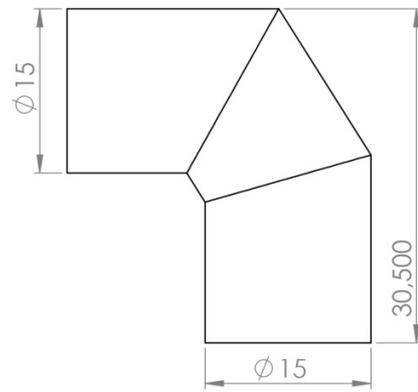


Codo

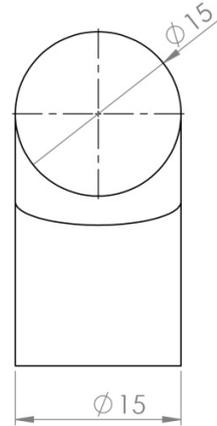
VISTA SUPERIOR



VISTA LATERAL



VISTA FRONTAL



TÍTULO:

Codo

NOMBRE

Sebastián Bastidas

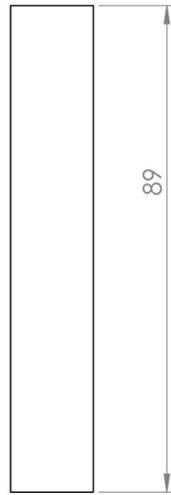
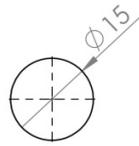
A4

ESCALA 1:10

HOJA 1 DE 1

Ductos

VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL

TÍTULO:

Ductos

NOMBRE

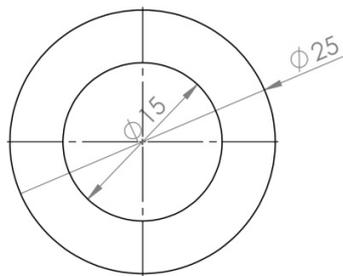
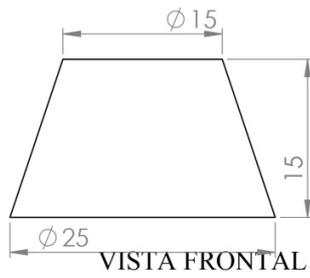
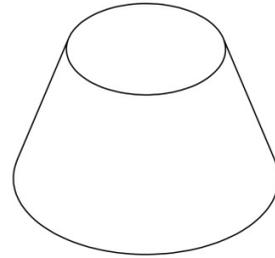
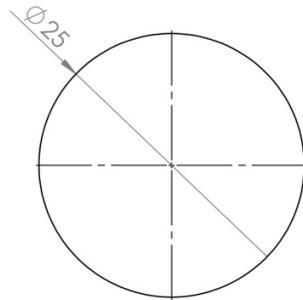
Sebastián Bastidas

A4

ESCALA:1:10

HOJA 1 DE 1

Cono para conectar los ductos con los codos



VISTA SUPERIOR

TÍTULO:	Cono	
NOMBRE	Sebastián Bastidas	A4
ESCALA: 1:10	HOJA 1 DE 1	

Anexo 6. Tabla de variables del PLC Simatic S7 - 1200

Totally Integrated Automation Portal							
Horno / PLC_2 [CPU 1214C AC/DC/Rly]							
Variables PLC							
Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Visible en HMI	Accesible desde HMI	Comentario	
Entrada RTD	Int	%IW80	False	True	True		
Entrada Acabado	Int	%IW64	False	True	True		
Entrada Pintura	Int	%IW66	False	True	True		
Normalizada RTD	Real	%MD186	False	True	True		
Temperatura	Real	%MD190	False	True	True		
Normalizada Acabado	Real	%MD0	False	True	True		
Normalizada Pintura	Real	%MD4	False	True	True		
Salida Acabado	Real	%MD8	False	True	True		
Grupo 1	Bool	%Q0.0	False	True	True		
Grupo 2	Bool	%Q0.1	False	True	True		
Grupo3	Bool	%Q0.2	False	True	True		
Ventilador	Bool	%Q0.3	False	True	True		
INICIO	Bool	%Q0.0	False	True	True		
Membresia Mate	Real	%MD16	False	True	True		
Salida Pintura	Real	%MD12	False	True	True		
Membresia Semibrillante	Real	%MD20	False	True	True		
Membresia Brillante	Real	%MD24	False	True	True		
Membresia Epoxi	Real	%MD28	False	True	True		
Membresia Poliester	Real	%MD32	False	True	True		
Membresia Hibrido	Real	%MD36	False	True	True		
Regla 1	Real	%MD40	False	True	True		
Regla 2	Real	%MD44	False	True	True		
Regla 3	Real	%MD48	False	True	True		
Regla 4	Real	%MD52	False	True	True		
Regla 5	Real	%MD56	False	True	True		
Regla 6	Real	%MD60	False	True	True		
Regla 7	Real	%MD64	False	True	True		
Regla 8	Real	%MD68	False	True	True		
Regla 9	Real	%MD72	False	True	True		
Variable linguistica Mate	Bool	%M76.0	False	True	True		
Variable linguistica Semibrillante	Bool	%M76.1	False	True	True		
Variable linguistica Brillante	Bool	%M76.2	False	True	True		
Variable linguistica Epoxi	Bool	%M76.3	False	True	True		
Variable linguistica Poliester	Bool	%M76.4	False	True	True		
Variable linguistica Hibrido	Bool	%M76.5	False	True	True		
Base de conocimientos Bajo	Bool	%M76.6	False	True	True		
Base de conocimientos Medio	Bool	%M76.7	False	True	True		
Base de conocimientos Alto	Bool	%M77.0	False	True	True		
Maximo Bajo	Real	%MD78	False	True	True		
Maximo Medio	Real	%MD82	False	True	True		
Maximo Alto	Real	%MD86	False	True	True		
Pendiente descendiente en 21	Real	%MD90	False	True	True		
Pendiente ascendente en 21	Real	%MD94	False	True	True		
Pendiente descendiente en 22	Real	%MD98	False	True	True		
Pendiente ascendente en 22	Real	%MD102	False	True	True		
Pendiente descendiente en 23	Real	%MD106	False	True	True		
Pendiente ascendente en 23	Real	%MD110	False	True	True		
Pendiente descendiente en 24	Real	%MD114	False	True	True		
Pendiente ascendente en 24	Real	%MD118	False	True	True		
Pendiente descendiente en 21.5	Real	%MD122	False	True	True		
Pendiente ascendente en 21.5	Real	%MD126	False	True	True		
Pendiente descendiente en 23.5	Real	%MD130	False	True	True		
Pendiente ascendente en 23.5	Real	%MD134	False	True	True		
21	Real	%MD138	False	True	True		
21.5	Real	%MD142	False	True	True		
22	Real	%MD146	False	True	True		
23	Real	%MD150	False	True	True		
23.5	Real	%MD154	False	True	True		
24	Real	%MD158	False	True	True		
Salida difusa	Real	%MD162	False	True	True		
Salida difusa redondeada	Real	%MD166	False	True	True		
Conversion a tiempo	DInt	%MD170	False	True	True		
Enclavamiento salida	Bool	%M77.1	False	True	True		
Tiempo	Time	%MD174	False	True	True		
Cuenta tiempo	Time	%MD178	False	True	True		
Conversion a tiempo final	DInt	%MD182	False	True	True		
Temporizador 1	Bool	%M77.6	False	True	True		
Stop	Bool	%Q0.1	False	True	True		
Marca ventilador	Bool	%M77.3	False	True	True		
Desactivar ventilador	Bool	%M77.4	False	True	True		
Fin de proceso	Bool	%Q0.7	False	True	True		
Tiempo de calentamiento	Bool	%M77.5	False	True	True		

Anexo 7. Lógica de programación en el PLC Simatic S7 - 1200

Título (Ingeniería / Automatización)	
<p>Segmento 5: Fusificación pendiente 1 Sembrillante</p>	<p>Simbolo "Membresía Sembrillante" "Salida Acabado"</p> <p>Dirección M10.2 M10.0 M10.1</p> <p>Tipo Real Real</p> <p>Comentario</p>
<p>Segmento 6: Fusificación recta Sembrillante</p> <p>Parte recta del tiempo de la entrada de acabado</p>	<p>Simbolo "Membresía Sembrillante" "Salida Acabado"</p> <p>Dirección M10.2 M10.0 M10.1</p> <p>Tipo Real Real</p> <p>Comentario</p>
<p>Segmento 7: Fusificación pendiente 2 Sembrillante</p>	<p>Simbolo "Membresía Sembrillante" "Salida Acabado"</p> <p>Dirección M10.2 M10.0 M10.1</p> <p>Tipo Real Real</p> <p>Comentario</p>
<p>Segmento 8: Fusificación pendiente Brillante</p>	<p>Simbolo "Membresía Brillante" "Salida Acabado"</p> <p>Dirección M10.2 M10.0 M10.1</p> <p>Tipo Real Real</p> <p>Comentario</p>
<p>Segmento 9: Fusificación recta Brillante</p> <p>Parte recta del tiempo de la entrada de acabado</p>	<p>Simbolo "Membresía Brillante" "Salida Acabado"</p> <p>Dirección M10.2 M10.0 M10.1</p> <p>Tipo Real Real</p> <p>Comentario</p>

Título (Ingeniería / Automatización)	
<p>Horno / PLC_2 [CPU 1214C AC/DC/RV] / Bloques de programa</p> <p>Main [OB1]</p> <p>Propiedades:</p> <p>Nombre: Main Número: 1 Tipo: OB Familia: ICP</p> <p> numeración automática</p> <p>Comentario: Lectura de la entrada de Familia</p> <p>Título: Main Program Sweep (Cy_Autor)</p> <p>Verificar: 0 ID personalizable: 0</p> <p>Main</p> <p>Nombre: Tipo de datos: Valor preset.</p> <p>Temp: Comentario:</p> <p>Comentario:</p>	<p>Segmento 1:</p>
<p>Segmento 2: Escalamiento entrada de Acabado</p>	<p>Simbolo "Membresía Mate" "Salida Acabado"</p> <p>Dirección M10.2 M10.0 M10.1</p> <p>Tipo Real Real</p> <p>Comentario</p>
<p>Segmento 3: Fusificación recta Mate</p> <p>Parte recta del tiempo de la entrada de acabado</p>	<p>Simbolo "Membresía Mate" "Salida Acabado"</p> <p>Dirección M10.2 M10.0 M10.1</p> <p>Tipo Real Real</p> <p>Comentario</p>
<p>Segmento 4: Fusificación pendiente Mate</p>	<p>Simbolo "Membresía Mate" "Salida Acabado"</p> <p>Dirección M10.2 M10.0 M10.1</p> <p>Tipo Real Real</p> <p>Comentario</p>

Tecnología: Ingeniería de Automatización Portal			
Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Salida Acabado?"	%M03	Real	
Segmento 10: Escalamiento entrada del Tipo de Pintura			
Segmento 11: Fusificación recta Epoxi			
Segmento 12: Fusificación pendiente Epoxi			
Segmento 13: Fusificación pendiente 1 Polister			
Segmento 14: Fusificación recta Polister			
Segmento 15: Fusificación pendiente 2 Polister			
Segmento 16: Fusificación pendiente Híbrido			
Segmento 17: Fusificación recta Híbrido			
Segmento 18: Variable lingüística Mate			
Segmento 19: Variable lingüística Sembrillante			

Tecnología: Ingeniería de Automatización Portal			
Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Membresía Polister?"	%M03.0	Real	
"Salida Pintura?"	%M03.1	Real	
Segmento 15: Fusificación pendiente 2 Polister			
Segmento 16: Fusificación pendiente Híbrido			
Segmento 17: Fusificación recta Híbrido			
Segmento 18: Variable lingüística Mate			
Segmento 19: Variable lingüística Sembrillante			

Tecnología de Automatización Portal																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Simbolo</th> <th>Dirección</th> <th>Tipo</th> <th>Comentario</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>"Base de conocimientos Medio"</td> <td>"MAD7.7"</td> <td>Booleo</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Membresía Políester"</td> <td>"MAD12"</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Membresía Semiclaram"</td> <td>"MAD15"</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Segmento 29: Regla 3</p>	Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario	"Base de conocimientos Medio"	"MAD7.7"	Booleo		"Membresía Políester"	"MAD12"	Real		"Membresía Semiclaram"	"MAD15"	Real	
Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario														
"Base de conocimientos Medio"	"MAD7.7"	Booleo															
"Membresía Políester"	"MAD12"	Real															
"Membresía Semiclaram"	"MAD15"	Real															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Simbolo</th> <th>Dirección</th> <th>Tipo</th> <th>Comentario</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>"Base de conocimientos Medio"</td> <td>"MAD7.7"</td> <td>Booleo</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Membresía Mante"</td> <td>"MAD16"</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Membresía Semiclaram"</td> <td>"MAD15"</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Segmento 30: Regla 4</p>	Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario	"Base de conocimientos Medio"	"MAD7.7"	Booleo		"Membresía Mante"	"MAD16"	Real		"Membresía Semiclaram"	"MAD15"	Real	
Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario														
"Base de conocimientos Medio"	"MAD7.7"	Booleo															
"Membresía Mante"	"MAD16"	Real															
"Membresía Semiclaram"	"MAD15"	Real															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Simbolo</th> <th>Dirección</th> <th>Tipo</th> <th>Comentario</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>"Base de conocimientos Medio"</td> <td>"MAD7.7"</td> <td>Booleo</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Membresía Políester"</td> <td>"MAD12"</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Membresía Semiclaram"</td> <td>"MAD15"</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Segmento 31: Regla 5</p>	Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario	"Base de conocimientos Medio"	"MAD7.7"	Booleo		"Membresía Políester"	"MAD12"	Real		"Membresía Semiclaram"	"MAD15"	Real	
Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario														
"Base de conocimientos Medio"	"MAD7.7"	Booleo															
"Membresía Políester"	"MAD12"	Real															
"Membresía Semiclaram"	"MAD15"	Real															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Simbolo</th> <th>Dirección</th> <th>Tipo</th> <th>Comentario</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>"Base de conocimientos Medio"</td> <td>"MAD7.7"</td> <td>Booleo</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Membresía Políester"</td> <td>"MAD12"</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Membresía Semiclaram"</td> <td>"MAD15"</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Segmento 32: Regla 6</p>	Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario	"Base de conocimientos Medio"	"MAD7.7"	Booleo		"Membresía Políester"	"MAD12"	Real		"Membresía Semiclaram"	"MAD15"	Real	
Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario														
"Base de conocimientos Medio"	"MAD7.7"	Booleo															
"Membresía Políester"	"MAD12"	Real															
"Membresía Semiclaram"	"MAD15"	Real															

Tecnología de Automatización Portal																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Simbolo</th> <th>Dirección</th> <th>Tipo</th> <th>Comentario</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>"Base de conocimientos Alto"</td> <td>"MAD7.9"</td> <td>Booleo</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Membresía Políester"</td> <td>"MAD12"</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Membresía Semiclaram"</td> <td>"MAD15"</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Segmento 33: Regla 7</p>	Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario	"Base de conocimientos Alto"	"MAD7.9"	Booleo		"Membresía Políester"	"MAD12"	Real		"Membresía Semiclaram"	"MAD15"	Real	
Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario														
"Base de conocimientos Alto"	"MAD7.9"	Booleo															
"Membresía Políester"	"MAD12"	Real															
"Membresía Semiclaram"	"MAD15"	Real															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Simbolo</th> <th>Dirección</th> <th>Tipo</th> <th>Comentario</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>"Base de conocimientos Medio"</td> <td>"MAD7.7"</td> <td>Booleo</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Membresía Políester"</td> <td>"MAD12"</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Membresía Semiclaram"</td> <td>"MAD15"</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Segmento 34: Regla 8</p>	Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario	"Base de conocimientos Medio"	"MAD7.7"	Booleo		"Membresía Políester"	"MAD12"	Real		"Membresía Semiclaram"	"MAD15"	Real	
Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario														
"Base de conocimientos Medio"	"MAD7.7"	Booleo															
"Membresía Políester"	"MAD12"	Real															
"Membresía Semiclaram"	"MAD15"	Real															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Simbolo</th> <th>Dirección</th> <th>Tipo</th> <th>Comentario</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>"Base de conocimientos Alto"</td> <td>"MAD7.9"</td> <td>Booleo</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Membresía Políester"</td> <td>"MAD12"</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Membresía Semiclaram"</td> <td>"MAD15"</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Segmento 35: Regla 9</p>	Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario	"Base de conocimientos Alto"	"MAD7.9"	Booleo		"Membresía Políester"	"MAD12"	Real		"Membresía Semiclaram"	"MAD15"	Real	
Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario														
"Base de conocimientos Alto"	"MAD7.9"	Booleo															
"Membresía Políester"	"MAD12"	Real															
"Membresía Semiclaram"	"MAD15"	Real															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Simbolo</th> <th>Dirección</th> <th>Tipo</th> <th>Comentario</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>"Base de conocimientos Alto"</td> <td>"MAD7.9"</td> <td>Booleo</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Membresía Políester"</td> <td>"MAD12"</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Membresía Semiclaram"</td> <td>"MAD15"</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Segmento 36: Máximo de todos los Bajo</p>	Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario	"Base de conocimientos Alto"	"MAD7.9"	Booleo		"Membresía Políester"	"MAD12"	Real		"Membresía Semiclaram"	"MAD15"	Real	
Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario														
"Base de conocimientos Alto"	"MAD7.9"	Booleo															
"Membresía Políester"	"MAD12"	Real															
"Membresía Semiclaram"	"MAD15"	Real															

Tecnología de Automatización Portal	
Simbolo "Base de conocimientos Bajo" "Regla 1" "Regla 2" "Regla 3" "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6" "Regla 7"	Dirección "Base de conocimientos Bajo" "Regla 1" "Regla 2" "Regla 3" "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6" "Regla 7"
Tipo Real Real Real Real Real Real Real	Comentario "Regla 1" "Regla 2" "Regla 3" "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6" "Regla 7"
Segmento 37: Máximo de todos Medio	
Simbolo "Base de conocimientos Medio" "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6" "Regla 7"	Dirección "Base de conocimientos Medio" "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6" "Regla 7"
Tipo Real Real Real Real	Comentario "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6" "Regla 7"
Segmento 38: Máximo de todos Alto	
Simbolo "Base de conocimientos Alto" "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6" "Regla 7"	Dirección "Base de conocimientos Alto" "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6" "Regla 7"
Tipo Real Real Real Real	Comentario "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6" "Regla 7"
Segmento 39: Cálculo en punto (21)	
Simbolo "Base de conocimientos Bajo" "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6"	Dirección "Base de conocimientos Bajo" "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6"
Tipo Real Real Real	Comentario "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6"

Tecnología de Automatización Portal	
Simbolo "Base de conocimientos Medio" "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6"	Dirección "Base de conocimientos Medio" "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6"
Tipo Real Real Real	Comentario "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6"
Segmento 41: Cálculo en punto (21.5)	
Simbolo "Base de conocimientos Bajo" "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6"	Dirección "Base de conocimientos Bajo" "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6"
Tipo Real Real Real	Comentario "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6"
Segmento 42: Cálculo en punto (21.5)	
Simbolo "Base de conocimientos Medio" "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6"	Dirección "Base de conocimientos Medio" "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6"
Tipo Real Real Real	Comentario "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6"
Segmento 43: Cálculo en punto (22)	
Simbolo "Base de conocimientos Bajo" "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6"	Dirección "Base de conocimientos Bajo" "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6"
Tipo Real Real Real	Comentario "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6"
Segmento 44: Cálculo en punto (22)	
Simbolo "Base de conocimientos Medio" "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6"	Dirección "Base de conocimientos Medio" "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6"
Tipo Real Real Real	Comentario "Regla 4" "Regla 5" "Regla 6"

Tecnología de Automatización Portal		<p>Simbolo "Base de conocimientos Ato"</p> <p>Dirección "Precedente ascendente en 23"</p> <p>Tipo Real</p> <p>Comentario "MAD122"</p>		<p>Simbolo "Base de conocimientos Ato"</p> <p>Dirección "Precedente descendente en 23"</p> <p>Tipo Real</p> <p>Comentario "MAD106"</p>		<p>Simbolo "Base de conocimientos Ato"</p> <p>Dirección "Precedente ascendente en 23"</p> <p>Tipo Real</p> <p>Comentario "MAD110"</p>		<p>Simbolo "Base de conocimientos Ato"</p> <p>Dirección "Precedente descendente en 23.5"</p> <p>Tipo Real</p> <p>Comentario "MAD130"</p>
-------------------------------------	--	---	--	--	--	---	--	--

Tecnología de Automatización Portal		<p>Simbolo "Base de conocimientos Ato"</p> <p>Dirección "Precedente ascendente en 23.5"</p> <p>Tipo Real</p> <p>Comentario "MAD134"</p>		<p>Simbolo "Base de conocimientos Ato"</p> <p>Dirección "Precedente descendente en 24"</p> <p>Tipo Real</p> <p>Comentario "MAD114"</p>		<p>Simbolo "Base de conocimientos Ato"</p> <p>Dirección "Precedente ascendente en 24"</p> <p>Tipo Real</p> <p>Comentario "MAD118"</p>		<p>Simbolo "Base de conocimientos Ato"</p> <p>Dirección "Precedente descendente en 21"</p> <p>Tipo Real</p> <p>Comentario "MAD095"</p>
-------------------------------------	--	---	--	--	--	---	--	--

Tecnología: Microsoft Automation Portal			
Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"23.5"	"MAD154"	Real	
"Base de conocimientos Alto"	"MAD150"	Real	
"Base de conocimientos Medio"	"MAD152"	Real	
"Máximo Medio"	"MAD151"	Real	
"Prudente ascendente en 23"	"MAD153"	Real	
"Prudente descendente en 23"	"MAD155"	Real	
Segmento 56: 24			
Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"23.5"	"MAD114"	Real	
"Base de conocimientos Alto"	"MAD110"	Real	
"Base de conocimientos Medio"	"MAD112"	Real	
"Máximo Medio"	"MAD111"	Real	
"Prudente ascendente en 24"	"MAD113"	Real	
"Prudente descendente en 24"	"MAD115"	Real	
Segmento 57: Destufificación Numerador			

Tecnología: Microsoft Automation Portal			
Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"21.5"	"MAD112"	Real	
"Base de conocimientos Alto"	"MAD108"	Real	
"Base de conocimientos Medio"	"MAD110"	Real	
"Máximo Medio"	"MAD109"	Real	
"Prudente ascendente en 21"	"MAD111"	Real	
"Prudente descendente en 21"	"MAD113"	Real	
Segmento 53: 22			
Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"23"	"MAD116"	Real	
"Base de conocimientos Alto"	"MAD112"	Real	
"Base de conocimientos Medio"	"MAD114"	Real	
"Máximo Medio"	"MAD113"	Real	
"Prudente ascendente en 22"	"MAD115"	Real	
"Prudente descendente en 22"	"MAD117"	Real	
Segmento 54: 23			
Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"23"	"MAD110"	Real	
"Base de conocimientos Alto"	"MAD106"	Real	
"Base de conocimientos Medio"	"MAD108"	Real	
"Máximo Medio"	"MAD107"	Real	
"Prudente ascendente en 23"	"MAD109"	Real	
"Prudente descendente en 23"	"MAD111"	Real	
Segmento 55: 23.5			

Tecally - Integrating the Automation Portal

Segmento 58: Conversion de la salida difusa a tiempo

Simbolo	Referencia	Tipo	Comentario
21.1*	MAD18	Real	
21.1.5*	MAD14.2	Real	
21.2*	MAD14.6	Real	
21.3*	MAD14.7	Real	
21.3.5*	MAD15.4	Real	
21.4*	MAD15.8	Real	
21.4.5*	MAD16.2	Real	
21.5*	MAD16.6	Real	
21.5.5*	MAD17.4	Real	
21.6*	MAD17.8	Real	
21.6.5*	MAD18.2	Real	
21.7*	MAD18.6	Real	
21.7.5*	MAD19.4	Real	
21.8*	MAD19.8	Real	
21.8.5*	MAD20.6	Real	
21.9*	MAD21.0	Real	
21.9.5*	MAD21.8	Real	
21.10*	MAD22.2	Real	
21.10.5*	MAD23.0	Real	

Segmento 59: Inicio del temporizador del horno

Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Conversion a tiempo final"	MAD18.2	DI11	
"Conversion a tiempo"	MAD17.0	DI11	
"Salida difusa"	MAD16.2	Real	
"Tiempo"	MAD17.4	Time	

Segmento 60: Escaliento entrada del RTD

Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Cuarta tiempo"	MAD17.8	Time	
"Temporizador 1"	MAD17.6	Bool	
"Tiempo calentamiento"	MAD17.4	Time	
"Tiempo"	MAD17.4	Time	

Tecally - Integrating the Automation Portal

Segmento 61: Control de temperatura Epoxi

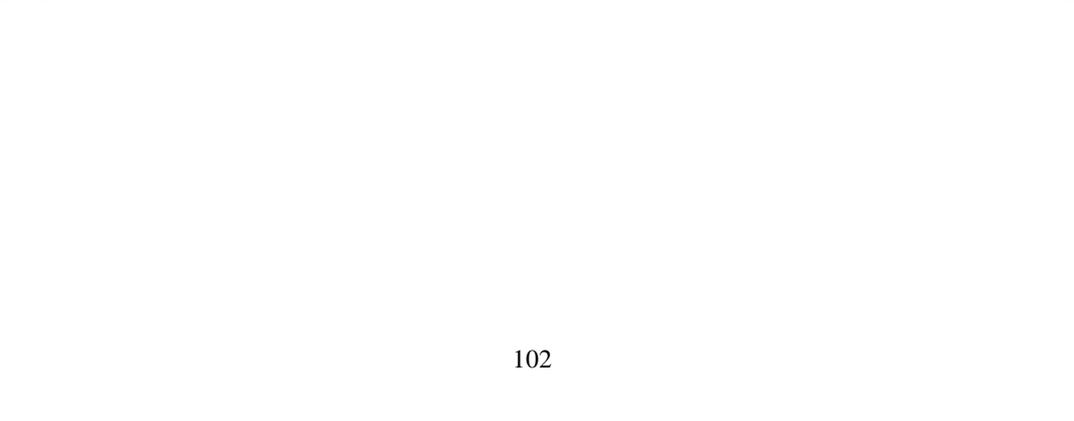
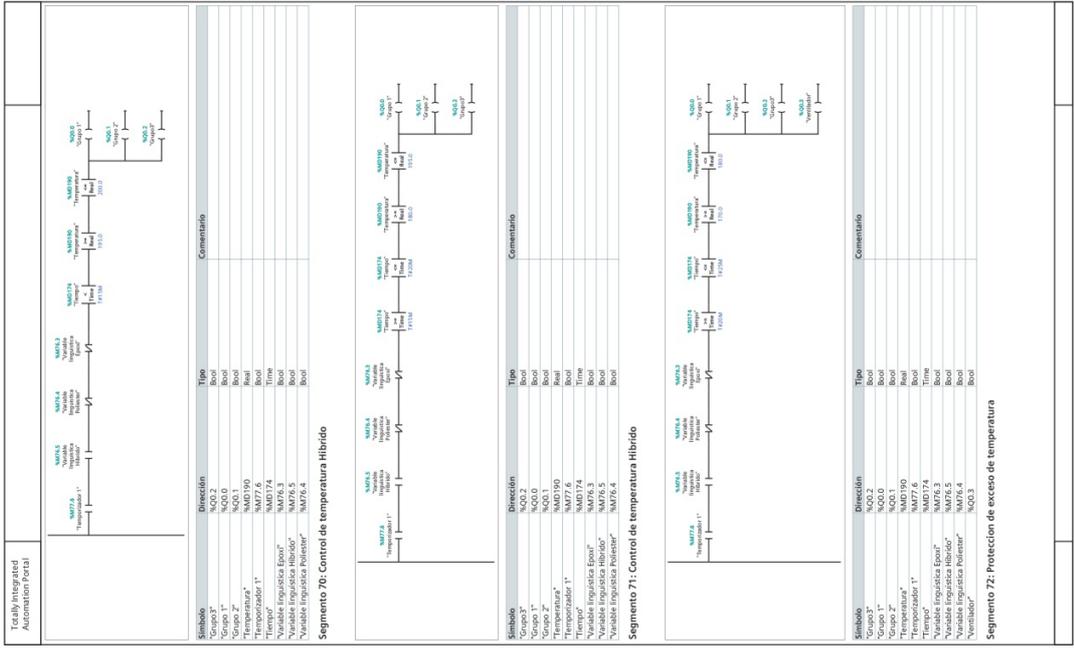
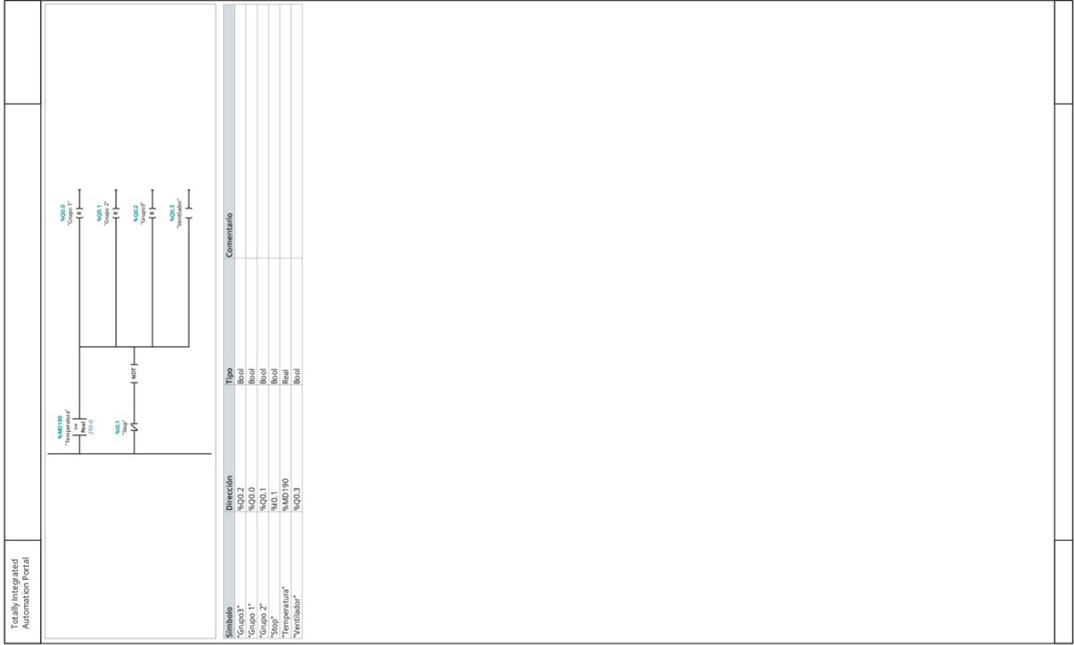
Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Temperatura RTD"	MAD19.6	Real	
"Normalización RTD"	MAD19.0	Real	

Segmento 62: Control de temperatura Epoxi

Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Grupo 1"	MAD19.2	Bool	
"Grupo 2"	MAD19.1	Bool	
"Temperatura"	MAD19.0	Real	
"Normalización"	MAD19.0	Real	
"Tiempo"	MAD17.4	Time	
"Variable linguística Epoxi"	MAD19.3	Bool	
"Variable linguística Epoxi"	MAD19.4	Bool	
"Variable linguística Epoxi"	MAD19.5	Bool	
"Variable linguística Epoxi"	MAD19.6	Bool	
"Variable linguística Epoxi"	MAD19.7	Bool	
"Variable linguística Epoxi"	MAD19.8	Bool	
"Variable linguística Epoxi"	MAD19.9	Bool	

Segmento 63: Control de temperatura Epoxi

Simbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Grupo 1"	MAD19.2	Bool	
"Grupo 2"	MAD19.1	Bool	
"Temperatura"	MAD19.0	Real	
"Normalización"	MAD19.0	Real	
"Tiempo"	MAD17.4	Time	
"Variable linguística Epoxi"	MAD19.3	Bool	
"Variable linguística Epoxi"	MAD19.4	Bool	
"Variable linguística Epoxi"	MAD19.5	Bool	
"Variable linguística Epoxi"	MAD19.6	Bool	
"Variable linguística Epoxi"	MAD19.7	Bool	
"Variable linguística Epoxi"	MAD19.8	Bool	
"Variable linguística Epoxi"	MAD19.9	Bool	



Anexo 8. Construcción del horno
Construcción de las paredes internas del horno



Colocación de las paredes externas



Colocación de la lana de vidrio



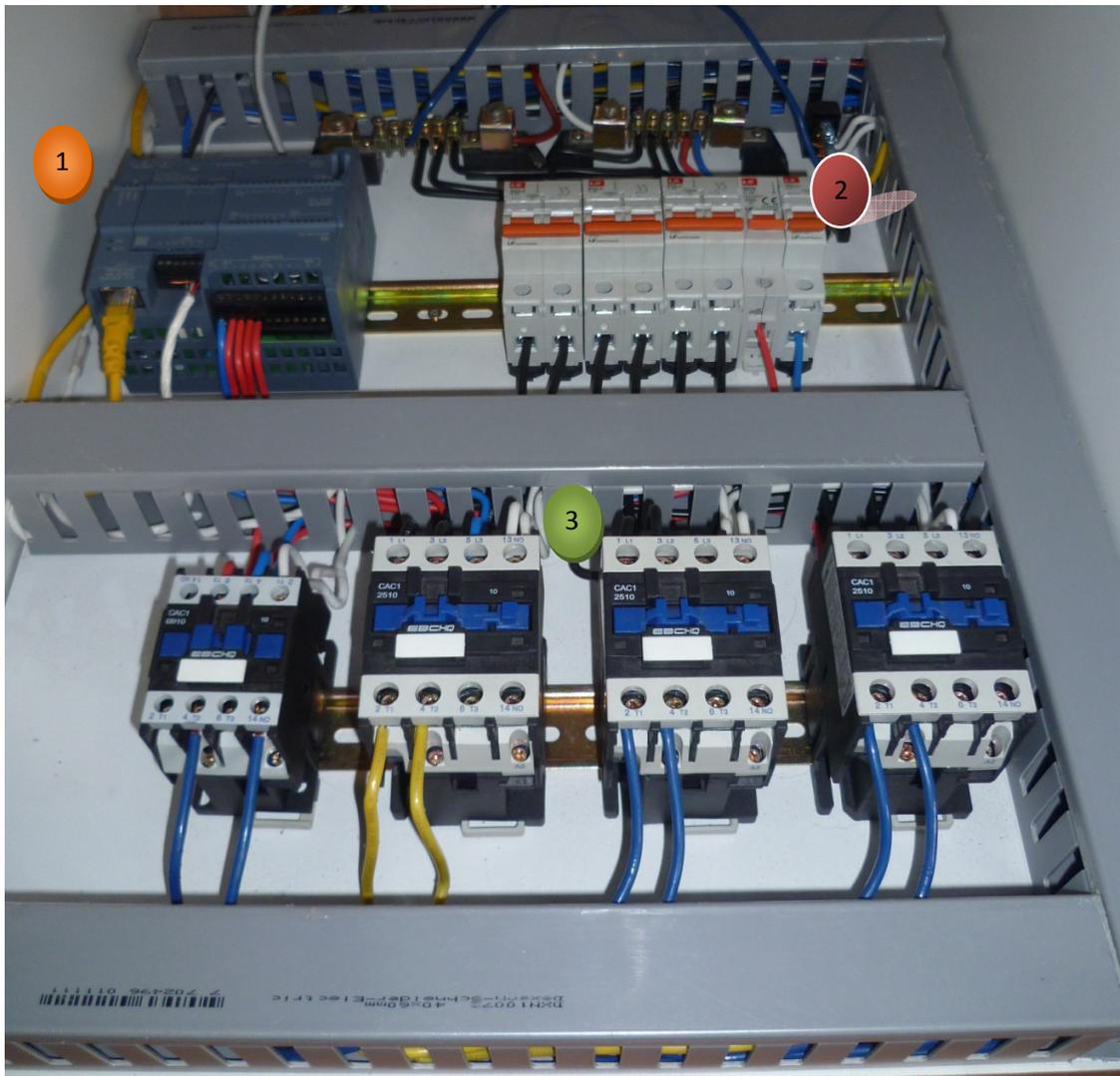
Construcción del caracol de ventilación



Colocación del caracol de ventilación



Anexo 9. Tablero de control



1. PLC SIMATIC S7 – 1200
2. Breakers de protección
3. Contactores para activar el sistema de calentamiento y ventilación

Anexo 10. Panel de control

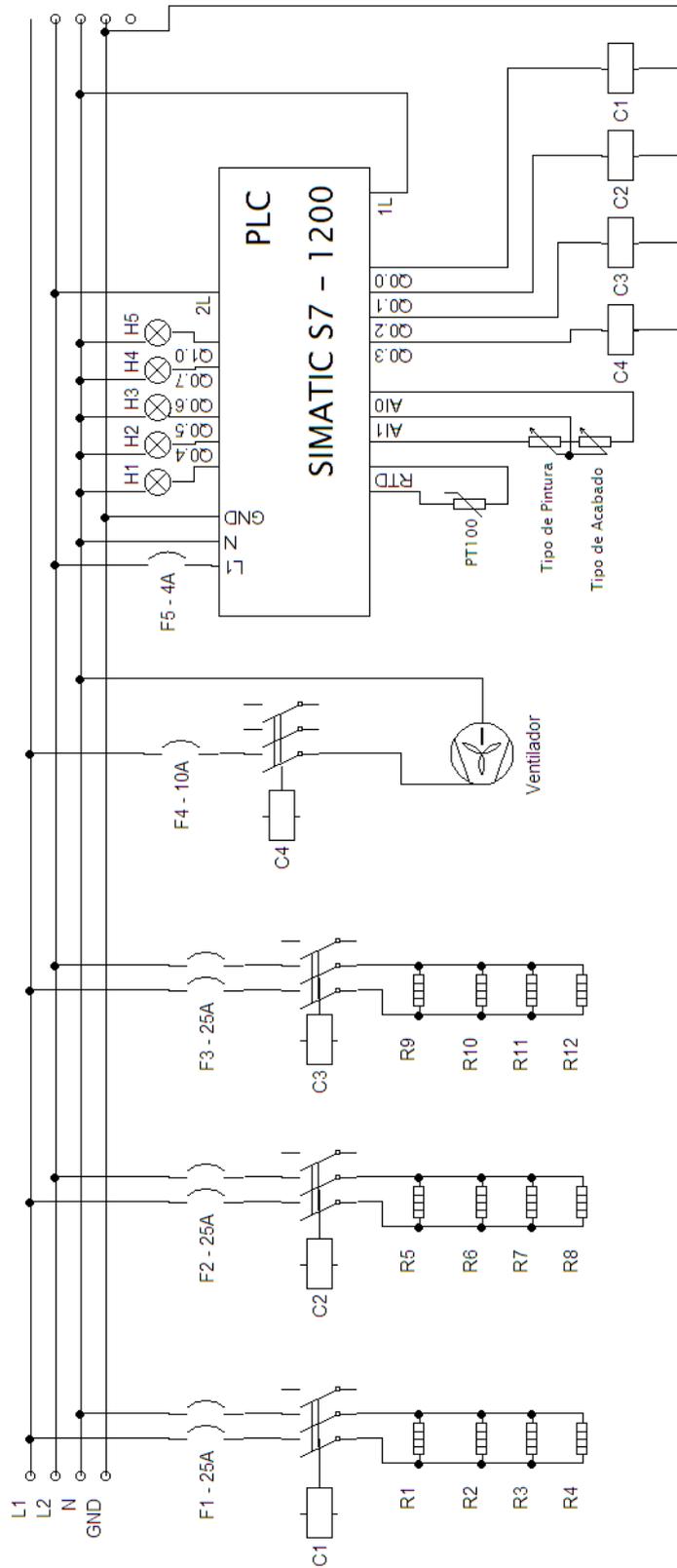


1. Indicadores de temperatura
2. Potenciómetro de selección del tipo de acabado
3. Potenciómetro de selección del tipo de pintura
4. Pulsador de inicio de proceso
5. Paro de emergencia
6. Interruptor para encender ò apagar la luz al interior del horno
7. Indicador de fin de proceso

Anexo 11. Horno para el curado de pintura electrostática



Anexo 12. Diagrama eléctrico del horno de curado



Anexo 13. Facturas y cotizaciones

ingelcom
eléctrica industrial y petrolera

Av. 6 de Diciembre N47-203 y Samuel Fritz
RUC: 1791852567001 Telf(s) 2416996
www.ingelcom.com.ec

COTIZACION No. 5240

FECHA: 03/10/2014
EMPRESA: SEBASTIAN BASTIDAS
TELEFONO: 0992667664
SOLICITADO POR:

REALIZADO POR: **ALEXIS DE VACAS**

SIEMENS FLUKE General Cable cablec COOPER Cruse-Hinds GREENLEE TRANSTECHNO group

Código	Cantidad	No. Parte	Descripción	PRECIO UNITARIO	% Des	P FINAL UNITARIO	VALOR TOTAL
S17516	1.00	6ES7214-1BG31-0XB0	CPU 1214C AC/DC/RELE S71200 6ES7214-1BG31-0XB0	895.000	22.00	542.100	542.100
S17657	1.00	6ES7231-5QA30-0XB0	SIGNAL BOARD SB 1231 6ES7231-5QA30-0XB 6ES7231-5QA30-0XB0	187.000	22.00	145.860	145.860
S80010	1.00	2CC22545YC3	VENTILADOR INDUSTRIAL 0.38M3 110V.2CC2 254-5YC3	245.000	22.00	191.100	191.100
TERMINOS COMERCIALES						Subtotal Imponible	879.06
FORMA DE PAGO: A CONVENIR TIEMPO DE ENTREGA: INMEDIATA VALIDEZ DE LA OFERTA: 5 DIAS <small>Precios calculados en base a cantidades y especificaciones indicadas, si estas varían INGELCOM se reserva el derecho de modificar los precios finales</small>						Subtotal No Imponible	0.00
						0.00% Descuento	0.00
						12% I.V.A.	105.49
						TOTAL	984.55

GS ELECTRÓNICA
SALAS QUINTANA EMMA GEORGINA

R.U.C. 1701441048001
FACTURA 001-001
Nº 0008583

DOCUMENTO CATEGORIZADO: NO Dirección: Venezuela N11-175 y Caldas
FECHA DE AUTORIZACIÓN: 26/Noviembre/2014 Telf.: 2570 084 Quito - Ecuador

AUTORIZACION S.R.L. Nº 1115969968

Cliente: 000007 Diego Tigse Fecha: 02/febrero/2015
Ciudad: Quito C.I./R.U.C.: 1715525505001 Telf.: 2692954
Dirección: Romel Vasquez 549-60 y Luis Chipantiza

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANT.	V. UNITARIO	VALOR TOTAL
Cnt-3	Contactor Chint 25Amp.AC3 110vac. 3P+Nº 60Hz. Mod: NC1-18	3.00	14.48	43.44
Cnt-5	Contactor Chint 9Amp.AC3 110vac. 3P+Nº 60Hz. Mod: NC1-09	1.00	8.00	8.00
Subtotal \$				51.440
DESCUENTO \$				
12% I.V.A. \$				6.17
TOTAL \$				57.61

FIRMA CLIENTE FIRMA RESPONSABLE

SANDOVAL CHASI EMERSON DANILO - MOVIL DIGITAL 2957-841 - R.U.C.: 1791798908001 - AUT. 1312 DEL 0008301 AL 0009300 FECHA DE CADUCIDAD: 26/Noviembre/2015

BLANCO ADQUIRIENTE / COPIA EMISOR



Representaciones Técnicas y Mantenimiento
 Concepción Av. La Prensa N47-296 y Río Palora
 Telfs.: (593 2) 224 0668 - 244 6212 - Fax: (593 2) 244 6237 - 224 7123
 E-mail: jorge.aubale@retena.ec
 Quito - Ecuador

R.U.C. 1790508943001
 AUTORIZACIÓN SRI N° 1114607108
 FECHA DE AUTORIZACIÓN: 31 / Marzo / 2014
 VÁLIDO PARA SU EMISIÓN HASTA: 31 / Marzo / 2015

FACTURA 001-001 N° 0075355

GUIA DE REMISIÓN

SEÑORES: DIEGO TIGSE
ROMEL VASQUEZ S49-80
Ruc. Cliente 1715525505001

FECHA
Quito, 16/01/2015

CONDICIONES DE PAGO
CONTADO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
01-019 Cable de ext. RTD, recubierto PVC, 22AWG	4.00	2.15	8.60
49-065 RTD 3/16" x 6" largo, 40" de largo de cable.	1.00	69.98	69.98
DESCUENTO:			3.14

CANCELADO
 Efectivo -
 Bco -
 Cta -
 Fecha -
 RETENA S.A.

CANCELADA Y RECIBIDA
 A CONFORMIDAD LA
 MERCADERIA
 RETENA S. A.

SI EL CLIENTE INCUMPLIERE CON EL TIEMPO ESTABLECIDO PARA EL PAGO DE LA PRESENTE FACTURA, RETENA S.A. ENTREGARÁ LA INFORMACIÓN DE SU VENCIMIENTO A LA CENTRAL DE RIESGOS.-	BASE IMPONIBLE TARIFA 0%		
RECIBI CONFORME LA MERCADERIA Y ACEPTO CONDICIONES MANIFESTADAS EN LA FACTURA	SUB-TOTAL		75.44
X.....	TOTAL BASE IMPONIBLE		75.44
SON: OCHENTA Y CUATRO DOLARES CON 49cvs.	IVA TARIFA 12 %		9.05
	TOTAL FACTURA		84.49

AUTORIZADO POR:

RETENA S.A., NO ADMITE DEVOLUCIONES DE MERCADERIA, SIN EMBARGO, CUALQUIER DEVOLUCIÓN NECESARIA SERÁ SUJETA A REVISIÓN DE LA MISMA Y DE SER EL CASO SU ACEPTACIÓN, SE DARÁ CON UN CARGO DEL 20% DEL VALOR DE LA BASE IMPONIBLE DEL ARTICULO OBJETO DE LA DEVOLUCIÓN CORRESPONDIENTE A GASTOS DE REPOSICIÓN DE EXISTENCIAS.
 www.retena.ec **ADQUIRIENTE**



RUC:1700863010001

Luminarias fluorescentes, decorativas y alumbrado público
Alambres en todo número de cobre y aluminio
Tubos Conduit EMT, Tubo BX
Accesorios para instalaciones eléctricas
Iluminación Led

DE: ROBALINO JACOME ANGEL ENRIQUE
Dirección: Av 10 de Agosto N23-95 y Mercadillo
Telfs.: 2 544-510 • 2 224-673 Fax.: 2 225-418
Quito - Ecuador

email: info@robalinojacome.com

DOCUMENTO CATEGORIZADO: NO
FACTURA

N° 001-001-00 0116057

AUT S.R.I. 1115630002

FECHA DE AUT.: 24 SEPTIEMBRE 2014

OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD

Cliente: TIGSE DIEGO
Dirección: ROMEL VASQUEZ 549-60
R.U.C. 171 5525505001

Telf.: 2692954
Fecha: 04/febrero /2015
Guía de Remisión: *

CODIGO	CANTIDAD	DESCRIPCION	V. UNITARIO	DESCUENTO	V. TOTAL DE VENTA
PP00547	3.00	BREAKER P/RIEL DIN 2P 25A LG UNIDAD	10.8482		32.54
PP00903	1.00	BREAKER P/RIEL DIN 1P 10A LG UNIDAD	4.7054		4.71
PP00542	1.00	BREAKER P/RIEL DIN 1P 4A LG UNIDAD	4.5536		4.55
XX00505	2.00	BARRA DE NEUTRO JCRF UNIDAD	4.4643		8.93
XX09500	1.00	RIEL DIN VARIOS UNIDAD	2.2321		2.23
CC00005	8.00	ALAMBRE SOLIDO #12 VARIOS METRO	0.3661		2.93

Debo y pagaré incondicionalmente en el lugar que se reconvenga, a la orden de ROBALINO JACOME ANGEL ENRIQUE, días fijos contados desde la fecha de suscripción de este pagaré, la cantidad que aparece en el total de este documento, más el interés legal de mora desde su vencimiento, así como el adicional permitido por la ley sin protesto. La persona que firma en aceptación a los términos de este documento, tiene autorización y es representante del deudor de esta factura.

Salida la Mercadería no se aceptan devoluciones.

FORMA DE PAGO:

Efectivo

04/02/2015

SUBTOTAL 12 %	55.89
SUBTOTAL 0 %	0.00
IVA 12 %	6.71
TOTAL	62.60

COBOS SANCHEZ MONICA LUPITA * CAMIGRAFIC * RUC:1709190175001 AUT. 2135 * TELF.: 2228-008/2552-801 * DEL 114901 al 120900 * FECHA DE CADUCIDAD: 24 SEPTIEMBRE 2015

16057

CLIENTE

ALEX ALMACHI

VENDEDOR