



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HORNO AUTÓNOMO
PARA EL SECADO DE GUANTES DE LÁTEX**

Otto Enrique García Galindo

Asesorado por el Ing. Byron Odilio Arrivillaga Méndez

Guatemala, noviembre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HORNO AUTÓNOMO
PARA EL SECADO DE GUANTES DE LÁTEX**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

OTTO ENRIQUE GARCÍA GALINDO

ASESORADO POR EL ING. BYRON ODILIO ARRIVILLAGA MÉNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO


DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
EXAMINADOR	Ing. Byron Odilio Arrivillaga Méndez
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HORNO AUTÓNOMO PARA EL SECADO DE GUANTES DE LÁTEX

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 12 de junio de 2014.



Otto Enrique García Galindo

Guatemala 5 de agosto de 2015

Ingeniero
Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador del área de Electrónica
Escuela de Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
USAC

Estimado Ingeniero:

Por este medio hago de su conocimiento que he revisado el trabajo de graduación del estudiante de la carrera de Ingeniería Electrónica OTTO ENRIQUE GARCÍA GALINDO con carné 200722432, titulado: **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HORNO AUTÓNOMO PARA EL SECADO DE GANTES DE LÁTEX"**, y a mi criterio el mismo cumple con los objetivos propuestos para su desarrollo según el protocolo, por lo cual como asesor apruebo su contenido.

Sin otro particular me despido, atentamente.

Ing. Byron Arrivillaga Méndez

Col. 5217


Byron Odilio Arrivillaga Méndez
Ing. Electrónico
Colegiado No. 5217
Asesor



Ref. EIME 65. 2015
Guatemala, 6 de agosto 2015.

Señor Director
Ing. Francisco Javier González López
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HORNO AUTÓNOMO
PARA EL SECADO DE GUANTES DE LÁTEX**, del estudiante
Otto Enrique García Galindo, que cumple con los requisitos
establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
DIRECCIÓN Y ENSEÑANZA A TODOS

Ing.  **Carlos Eduardo Guzmán Salazar**
Coordinador Área Electrónica



SFO



REF. EIME 65. 2015.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; **OTTO ENRIQUE GARCÍA GALINDO,** titulado: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HORNO AUTÓNOMO PARA EL SECADO DE GUANTES DE LÁTEX,** procede a la autorización del mismo.

Ing. Francisco Javier González López




GUATEMALA, 16 DE OCTUBRE 2015.



DTG. 611.2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HORNO AUTÓNOMO PARA EL SECADO DE GUANTES DE LATEX**, presentado por el estudiante universitario: **Otto Enrique García Galindo**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Angel Roberto Sic García
Decano en Funciones

Guatemala, noviembre de 2015

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser siempre fiel conmigo y por poner esa estrella en mi camino que la guía, cuida y bendice.
- Mis padres** Otto René García e Irma Yolanda Galindo, por su incondicional apoyo, amor, inspiración y haberme dado la oportunidad de una vida mejor.
- Mis hermanos** Karen Andrea y Javier Alejandro, por su apoyo incondicional, amor, risas, ocurrencias que me motivaron en esos momentos difíciles y que sea de inspiración para su futura carrera profesional.
- Mi familia** Mis abuelos, tíos y primos, por ser siempre fuente de inspiración y ayuda, por dar esas palabras de ánimo y aliento cuando lo necesitaba y esas sonrisas que alegran los días.
- Mis amigos** Luis Felipe Méndez y Luis Donis, por esa amistad especial que viene desde los años de primaria y básicos y por su apoyo durante todos estos años; a Jorge Mejía, por estos 25 años de amistad desde los estudios hasta lo laboral.

Compañeros de estudio	Por su amistad, apoyo y ayuda durante mis años de estudio, en especial a Héctor Miranda, por su apoyo y amistad durante la carrera y amistad de infancia.
Mi asesor	Ing. Byron Arrivillaga, por su gran colaboración en el desarrollo de este trabajo.
Mis revisores	Licda. Glendy Amézquita de González y Licda. Aura Mayorga, por su valioso tiempo de calidad dedicado.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme la posibilidad de estudiar una carrera técnica universitaria de calidad y formar ese carácter de profesional.
Facultad de Ingeniería	Por darme la formación académica para convertirme en un profesional de calidad.
Manufacturas Vista al Mar, S. A.	Por haberme abierto las puertas para realizar mis prácticas finales de ingeniería y continuar con mi trabajo de graduación; por confiar en mí como profesional.
Ing. Thomas Leonard	Por sus enseñanzas, por haber creído y confiado en mí profesionalmente; por darme la oportunidad de desarrollarme como profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. HORNOS INDUSTRIALES.....	1
1.1. Clasificación de los hornos.....	3
1.2. Campos de aplicación de los hornos industriales	4
1.3. Partes principales de los hornos y función de cada una de ellas.....	8
1.3.1. Cimientos.....	9
1.3.2. Plataforma	9
1.3.3. Solera	10
1.3.4. Paredes	10
1.3.5. Bóveda	11
1.3.6. Canales	13
1.3.7. Juntas térmicas.....	13
1.3.8. Esqueleto metálico	13
1.3.9. Ventanas de trabajo.....	14
2. HORNOS DE GAS.....	15
2.1. Partes fundamentales de un horno de gas.....	15
2.2. Clasificación de hornos de gas según su función	16

2.2.1.	Hornos de fusión	16
2.2.2.	Hornos de recalentar	17
2.2.3.	Hornos de tratamiento térmico	18
2.3.	Combustión.....	18
2.3.1.	Combustibles gaseosos	19
2.4.	Componentes	20
2.4.1.	Quemadores y equipos de combustión en el hogar	20
2.4.2.	Cámara de calentamiento	21
2.4.3.	Materiales refractarios y aislantes	22
2.4.4.	Chimenea y tubos de escape	23
2.5.	Ventajas de los combustibles gaseosos frente a los líquidos.....	23
2.5.1.	Aspectos relacionados con el estado físico y composición química.....	23
2.5.2.	Aspectos relacionados con el estado físico y composición química.....	24
2.5.3.	Menores emisiones por unidad de producto fabricado.....	25
2.5.4.	Inconvenientes	26
2.6.	Aplicaciones.....	27
2.7.	Medidas de eficiencia	28
2.7.1.	Diseño y utilización del horno.....	29
2.7.2.	Alimentación.....	30
2.7.3.	Combustión	31
2.7.4.	Efluentes	31
2.7.5.	Mantenimiento y pérdidas	31

3.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL HORNO AUTÓNOMO.....	33
3.1.	Limitaciones y especificaciones	33
3.2.	Materiales.....	34
3.2.1.	Materiales de la estructura.....	34
3.2.2.	Materiales de las paredes aislantes.....	35
3.3.	Partes del horno.....	36
3.4.	Estructura metálica	36
3.5.	Aislante.....	37
3.6.	Plenum.....	38
3.7.	Diseño de los dámpers de la bóveda y del retorno	39
3.8.	Retroalimentación del horno	41
4.	INSTRUMENTACIÓN.....	43
4.1.	Soplador principal	43
4.1.1.	Turbina	43
4.1.2.	Motor 7,46 kW (10 HP)	45
4.1.3.	Variador de frecuencia 7,46 kW.....	45
4.2.	Turbina para agregar el gas	47
4.3.	Transformador de alto voltaje.....	47
4.4.	Controladores de temperatura PID	48
4.5.	Termopar tipo J	51
4.6.	Controladores de las compuertas dámpers	53
4.7.	Diferenciador de presión	54
4.8.	Fuente de 24 VDC	57
4.9.	Materiales para las cajas de control.....	58
4.10.	Controlador del quemador HoneyWell	59
5.	TREN DE GAS	63
5.1.	Reguladores de presión	67

5.1.1.	Regulador de presión núm. 1	68
5.1.2.	Regulador de presión núm. 2	68
5.1.3.	Regulador de presión núm. 3	68
5.2.	Switch de presión alta y baja	69
5.2.1.	Switch de presión alta	70
5.2.2.	Switch de presión baja	71
5.3.	Válvula Dungs.....	71
6.	CONEXIONES ELÉCTRICAS.....	73
6.1.	Diagramas eléctricos.....	73
6.1.1.	Conexión del sistema del quemador	73
6.1.2.	Diferenciador de presión	75
6.1.3.	Variador de frecuencia	77
6.1.4.	Controlador de temperatura PID	78
6.1.5.	Controlador de dámpers, Belimo.....	79
6.2.	Teoría de operación.....	80
6.3.	Detalle técnicos	84
6.3.1.	Ley de Ohm.....	84
6.3.2.	Señal analógica 4 – 20 mA.....	86
6.3.3.	Cable de termopar.....	87
6.3.4.	Cables de alimentación y conexión	87
6.3.5.	PID	88
7.	PRUEBAS Y RESULTADOS	93
7.1.	Cambios en los diseños.....	95
7.1.1.	Mejor posición de los sensores de temperatura del horno	95
7.1.2.	Fugas o decrementos de temperatura dentro del horno	96

7.1.3.	Una temperatura estable en todas las posiciones del horno.....	96
7.2.	Resultados de las pruebas.....	99
7.2.1.	Análisis para el rango mínimo y máximo de operación del horno	99
7.2.2.	Rango óptimo de operación del horno.....	102
7.2.2.1.	Nivel mínimo	102
7.2.2.2.	Nivel máximo	103
7.3.	Diseño final	104
7.3.1.	Rangos y condiciones de operación	104
7.3.2.	Rangos de temperatura	104
7.3.3.	Recámara interna del horno	105
7.3.4.	Posiciones de los sensores de temperatura	106
7.4.	Precauciones	106
7.5.	Mantenimiento.....	107
7.5.1.	Mantenimiento mensual.....	107
7.5.2.	Mantenimiento trimestral	107
7.5.3.	Mantenimiento semestral.....	107
CONCLUSIONES		109
RECOMENDACIONES		111
BIBLIOGRAFÍA.....		113

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Sistema a bloques de un horno de gas.....	16
2.	Ventajas de la utilización de gas frente a combustibles líquidos y electricidad.	25
3.	Diseño de la estructura metálica de la línea de producción.	37
4.	Línea de producción, donde circulado con línea amarilla equivale a la sección del horno.	38
5.	Diseño del plenum (color gris).....	39
6.	Plenum completo en el horno (color gris).....	39
7.	Dámper completamente cerrado vista 2D.	40
8.	Dámper completamente cerrado vista 3D.	40
9.	Dámper completamente abierto vista 2D.	41
10.	Dámper completamente abierto vista 3D.....	41
11.	Retornos del horno vista 2D.....	42
12.	Retornos del horno vista 3D.....	42
13.	Soplador a utilizar.....	44
14.	Soplador instalado en el horno.....	44
15.	Motor 7,46 kW del soplador.	45
16.	Descripción del variador de frecuencia según modelo.....	46
17.	Variador de frecuencia 7,46 kW.	46
18.	Quemador utilizado e instalado.....	47
19.	Transformador de alto voltaje.....	48
20.	Descripción del controlador de temperatura según modelo.	49
21.	Especificaciones inscritas en el controlador.....	49

22.	Controlador de temperatura PID CD101.....	50
23.	Controlador de temperatura PID CD101, panel y terminales.....	50
24.	Termopar tipo J.....	51
25.	Ubicación e instalación termopares en el horno.	52
26.	Instalación completa termopar y caja controladora de dámper.....	52
27.	Montaje del controlador Belimo.	53
28.	Controlador Belimo ya instalado.	54
29.	Diferenciador de presi3n Setra M260 Multi-Sense.	55
30.	Conexi3n a tres cables (salida voltaje).	56
31.	Conexi3n a dos cables (salida corriente).....	56
32.	Tarjeta electr3nica del diferenciado de presi3n.	57
33.	Fuente de 24 V DC.....	58
34.	Dimensiones y forma f3sica del controlador Honeywell.....	61
35.	Vista de despiece del m3dulo de rel3 RM7890.....	61
36.	Diagramas de conexi3n a bloques del controlador Honeywell.....	62
37.	Teor3a de operaci3n del controlador Honeywell.....	62
38.	Tren de gas utilizado.	63
39.	Tuber3a de gas propano antes del tren de gas.	64
40.	Direcci3n de flujo del gas propano.....	65
41.	Tren de gas armado e instalado.	66
42.	Conexi3n de los <i>switchs</i> de seguridad.....	69
43.	Switch de alta presi3n utilizado.....	71
44.	Switch de baja presi3n utilizado.....	71
45.	Válvula Dungs, SV/614 Series.....	72
46.	Diagramas de conexi3n a bloques del controlador Honeywell y caracter3sticas de conexiones.....	74
47.	Diagrama el3ctrico a bloques del controlador Honeywell.	75
48.	Conexi3n del diferenciador de presi3n salida corriente 4 – 20 mA con el variador de frecuencia.....	77

49.	Diagrama de conexión del variador de frecuencia.	78
50.	Conexión del controlador de temperatura PID.	79
51.	Conexión eléctrica del controlador Belimo con el controlador de temperatura PID.	80
52.	Teoría de operación del horno.	81
53.	Diagrama circular de operaciones en la Ley de Ohm.	85
54.	Icono del Software para el Data Logger.	93
55.	Ventana de inicio del software.	94
56.	Tiempos máximos del hardware dentro de un horno.	94
57.	Diseño original de la recámara del horno y posiciones de los termopares.	97
58.	Primera medición de la temperatura dentro del horno.	97
59.	Modificación de la recámara del horno.	98
60.	Medición final de la temperatura dentro del horno.	98
61.	Gráfica de presiones dentro del horno con los dámpers abiertos y cerrados.	100
62.	Diseño final de la recámara del horno.	105

TABLAS

I.	Combustibles gaseosos más utilizados.	19
II.	Rendimientos energéticos de las diferentes fuentes de energía.	27
III.	Descripción de aplicación por tipo de horno.	28
IV.	Rangos disponibles de los límites de presión.	70
V.	Abreviaturas, significado y unidad de medida de la Ley de Ohm.	85
VI.	Tabla de consumos de corriente de los dispositivos electrónicos.	88
VII.	Tabla de corriente eléctrica y presión con los dámpers abiertos y cerrados en función de la variación de frecuencia.	100
VIII.	Rangos y condiciones de operación.	104

IX. Rangos de temperatura del horno. 105

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Ampere
H.P.	Caballo de fuerza
TFF	Cable flexible aislado
AWG	Calibre para el cable en dimensión americana
W.C.	Columna de agua
PID	Control proporcional, integral, derivativo
AC	Corriente alterna
DC	Corriente directa
I	Corriente eléctrica
LED	Diodo emisor de luz
CO2	Dióxido de carbono
GLP	Gases licuados de petróleo
°C	Grados centígrados
°F	Grados Fahrenheit
K	Grados Kelvin
G	Gravedad
Hz	Hertz
kcal	Kilo calorías
kW	Kilo Watts
Psi	Libras por pulgada cuadrada
m	Metro
mA	Mili ampere
mm	Milímetro

Nm³	Newton-metro cúbicos
N.O.	Normalmente abierto
N.C.	Normalmente cerrado
FeO	Óxido de hierro
Pa	Pascal
‘	Pie
“	Pulgada
SV	Punto de consigna
PV	Punto de lectura
Ohm	Unidad de medida de la resistencia eléctrica
V	Voltio
V AC	Voltaje de corriente alterna
V DC	Voltaje de corriente directa
W	Watt

GLOSARIO

Arco voltaico	Es la descarga eléctrica que se forma entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial.
Atmósfera controlada	Es una técnica de conservación que reduce los niveles de oxígeno y aumenta los niveles de dióxido de carbono.
Calcinación	Es la descomposición térmica de un material.
Crisol	Recipiente de material refractario que sirve para fundir un metal a temperaturas muy altas, usado en la industria química y metalúrgica.
Cubilote	Es un horno vertical para refundir los lingotes de hierro que se obtienen en los altos hornos, chatarra reutilizada, alimentadores y bebederos de piezas fundidas anteriormente.
Datta Logger	Dispositivo electrónico que registra datos en el tiempo o en relación con la ubicación por medio de instrumentos y sensores propios o conectados externamente.
Descarburación	Eliminación del carbono en un carburo metálico.

Diatomita	Es una roca silíceas de origen orgánico formada esencialmente por diatomeas, se emplea en las industrias de fertilizantes, pinturas, aislantes y elementos filtrantes.
Efecto Joule	Es el fenómeno irreversible por el cual si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor.
Efluentes	Término empleado para nombrar a las aguas servidas con desechos sólidos o gaseosos que son emitidos por viviendas y/o industrias.
Escoria	Sustancia vítrea, formada por las impurezas que flotan en el crisol de los hornos metalúrgicos.
Fusión	La fundición implica reacciones térmicas en las que al menos un producto es una fase fundida.
Mampostería	Procedimiento de construcción en que se unen las piedras con argamasa sin ningún orden de hilada o tamaños.
Material vítreo	Es un material amorfo.
Metalotermia	Consiste en sustituir, en un compuesto, un metal por otro metal más activo o más ávido del metaloide que constituía el compuesto original.

Resistencia ohmica	Es aquella resistencia que, a cualquier temperatura dentro de su rango de operación, mantienen una resistencia constante.
Revenido	El revenido al igual que normalizado, recocido y el temple, es un tratamiento térmico a un material con el fin de variar su dureza y cambiar su resistencia mecánica.
Reverbero	Es una especie de espejo reflector, generalmente metal, que se adapta a una lámpara para hacer converger la luz en un punto.
Sinterización	Es el tratamiento térmico de un polvo o compactado metálico o cerámico a una temperatura inferior a la de fusión de la mezcla, para incrementar la fuerza y la resistencia de la pieza.
Tostado	Proceso en el que la temperatura provoca reacciones químicas gas-sólido.
Volatilización	Consiste en el cambio de estado sólido al estado gaseoso.
Volatilización reductora	Consiste en el cambio de sólido al estado gaseoso agregando un agente reductor para ceder electrones al agente oxidante.

RESUMEN

El horno fue construido en la parte superior de la línea de producción, ya que este es el proceso final, el secado de los guantes. Fue elaborado para calentar la recámara y aumentar la temperatura con aire caliente, calentado por la combustión de gas propano y se hace circular por todo el horno, gracias a una turbina girada por un motor de corriente alterna de 7,46 kW de potencia.

El diseño original del horno realizado con base en la teoría y experiencia de otras líneas de producción, con innovaciones en cada estación de secado y autonomía respecto del proceso principal de la línea de producción.

El objetivo principal era llegar a ciertas temperaturas constantes en las estaciones diferentes del horno a lo largo y también a lo ancho, adentro del horno para que mantenga la misma temperatura en cualquier punto interno de la recámara.

En el horno se logró una temperatura constante trabajando en el rango de los 348,15 a los 393,15 K (75 a 120 °C), esto fue resultado de exhaustivas pruebas y ajustes precisos en la instrumentación, ya que manejar aire caliente en una recámara no hermética fue de resultados muy interesantes y difíciles de manejar, debido a que el aire caliente cambia su densidad respecto de la del aire a temperatura ambiente; siempre se tuvieron que hacer pruebas con aire a temperatura ambiente y con las diferentes temperaturas que se deseaban trabajar.

OBJETIVOS

General

Elaborar un horno no hermético que funcione a base de aire caliente y cumpla con ciertas especificaciones, con la finalidad de lograr una alta calidad en el proceso de producción de guantes de látex y un alto desempeño en el secado de los mismos.

Específicos

1. Elaborar un horno, que pueda operar sin ningún problema entre 353,15 y 393,15 K (80 y 120 °C) a base de aire calentado por gas propano, para el secado de guantes de látex.
2. Construir el horno con un aislamiento adecuado para el buen desempeño y seguridad de los trabajadores.
3. Lograr una temperatura y aire constantes dentro de la recámara del horno.
4. Utilizar la instrumentación adecuada para el alto desempeño del proceso.

INTRODUCCIÓN

El objetivo principal que era construir un horno no hermético que funcione a base de aire caliente y cumpla con ciertos rangos de temperatura a una temperatura constante en todos los puntos internos del mismo, se logró, y con este trabajo se detalló su construcción, conceptos básicos y fundamentales para un horno, la instrumentación utilizada y los resultados.

En el capítulo 1 se describen conceptos generales y fundamentales sobre que es un horno, los diferentes tipos de hornos industriales que existen, su clasificación, sus campos de aplicación, las partes importantes de un horno y la importancia de cada una de estas.

En el capítulo 2 ya se encuentra información más puntual sobre un horno de gas, ya que el mismo construido funciona a base de gas propano; las partes fundamentales de un horno de gas, que son los combustibles gaseosos más utilizados, componentes a utilizar en un horno de gas, las ventajas de utilizar gas comparado a combustibles líquidos y a la electricidad, sus aplicaciones y sus medidas de eficiencia.

En el capítulo 3 están detalladas las dimensiones que se tenían que respetar a la hora del diseño del horno, dimensiones físicas y las temperaturas que se querían alcanzar, materiales utilizados para la construcción de la estructura metálica, las partes del horno, el porqué de cada parte y la importancia de cada una.

En el capítulo 4 se describe la instrumentación utilizada, cada uno de los componentes del horno para lograr un horno completamente autónomo; se le llamó horno autónomo debido a que este no tiene relación con el programa principal que se utiliza para la fabricación de guantes y es montado en la misma línea de producción. Este horno cuenta con 29 estaciones para el secado de las 78 que tiene en total la línea de producción; en 28 de las 29 estaciones se cuenta con sensores de temperatura que son ajustables en cada estación para obtener la temperatura que se desea en cada estación.

En el capítulo 5 se describe en qué consiste el tren de gas, parte muy importante para el horno y se le dedicó un capítulo solo a este tema, ya que es de suma importancia examinar los componentes, su forma de conectar y las seguridades que se tiene que tener.

En el capítulo 6 están detalladas las conexiones eléctricas de los componentes y del horno, conceptos fundamentales que se necesitan para dimensionar algunos componentes, materiales y para el ajuste de los mismos y la teoría de operación del horno.

En el capítulo 7 están todos los resultados obtenidos, el software que se utilizó para monitorear la temperatura a través de todo el horno, las modificaciones que se realizaron para las mejoras, tablas, gráficas y rango de operación final.

Las medidas fueron dadas en el sistema internacional y en su mayoría acompañadas por las unidades trabajadas por los trabajadores de la empresa Manufacturas Vista al Mar S. A. para el diseño, construcción y operación del horno.

1. HORNOS INDUSTRIALES

Los hornos industriales son los equipos o dispositivos utilizados en la industria, en los que se calientan los materiales y las piezas o elementos colocados en su interior por encima de la temperatura ambiente. El objeto de este calentamiento puede ser muy variado, por ejemplo:

- Alcanzar la temperatura necesaria para que se produzcan las reacciones químicas que permitan la obtención de un determinado producto.
- Cambios de estado (fusión de los metales y vaporización).
- Ablandar para una operación de conformado posterior.
- Tratar térmicamente para impartir determinadas propiedades.
- Recubrir las piezas con otros elementos, operación que se facilita frecuentemente operando a temperatura superior a la del ambiente (vitrificado de los productos cerámicos).
- Deshidratación o secado.

Atendiendo al tipo de efecto que el horno produce en el producto, se pueden tener hornos para producir efectos físicos en el producto, que a su vez pueden dividirse en:

- Hornos para producir efectos químicos en el producto como:
 - Reducción sin fusión
 - Fusiones reductoras
 - Sinterización
 - Tostación

- Calcinación
- Volatilización
- Volatilización reductora
- Metalotermia

Es frecuente utilizar otros términos para definir los hornos, tales como:

- Estufas: para hornos que operen a baja temperatura pero sin definir esta, normalmente hasta 737,15 – 873,15 K (500-600 °C).
- Secaderos, también denominados cuando se realiza por elevación de la temperatura, estufas de secado; la temperatura de secado puede ser elevada y adoptar una técnica de construcción similar a la de los hornos.
- Baterías de coque: son las series de hornos en forma de celda utilizadas en la producción de coque.
- Arcas de recocer: utilizadas en la industria de vidrio.
- Incineradores: equipos destinados a la combustión y eliminación de residuos.

La energía calorífica requerida para el calentamiento de los hornos puede proceder de:

- Gases calientes (llama): producidos en la combustión de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos que calientan las piezas por contacto directo entre ambos o indirectamente a través de paredes o tubos radiantes o intercambiadores en general.
- Energía eléctrica en diversas formas:
 - Arco voltaico de corriente alterna o continua
 - Inducción electromagnética
 - Alta frecuencia en forma de dielectricidad o microondas

- Resistencia óhmica directa de las piezas
- Resistencias eléctricas puestas en el horno que se calientan por efecto Joule y ceden calor a la carga por las diversas formas de transmisión de calor

1.1. Clasificación de los hornos

La forma de calentamiento da lugar a la clasificación de los hornos en dos grandes grupos con diversos tipos, que son:

- Hornos de llama:
 - Hornos verticales o de cuba
 - Hornos de balsa
 - Hornos rotatorios
 - Hornos túnel
- Hornos eléctricos:
 - Hornos de resistencias
 - Hornos de arco
 - Hornos de inducción

En los hornos de llama se hace referencia al tipo de recinto, el cual también puede darse en los hornos eléctricos. Así, los hornos eléctricos de resistencia según el tipo de recinto pueden ser:

- Hornos de solera
- Hornos de balsa
- Hornos de soleras múltiples
- Hornos de solera giratoria

- Hornos de túnel
- Hornos rotativos
- Hornos de solera móvil
- Hornos de crisol
- Hornos de mufla
- Hornos de cuba

1.2. Campos de aplicación de los hornos industriales

Los campos de aplicación se pueden clasificar por los diferentes tipos de industrias, con una indicación somera de los hornos utilizados o de las operaciones realizadas en ellos.

Industria siderúrgica:

- Hornos altos de reducción de mineral de hierro.
- Mezcladores de arrabio calentados por llamas o por inducción.
- Convertidores de acero.
- Hornos de arco para fusión de chatarra.
- Hornos de fusión por inducción de chatarra.
- Hornos de recalentar para las operaciones de laminación, forja, extrusión, de muy diferentes tipos.
- Hornos de tratamientos térmicos de barras, redondos, chapas, perfiles, bobinas, entre otros.
 - Precalentadores de cestas de carga
 - Precalentadores de cucharas de colada
 - Hornos de laboratorio
 - Hornos de atmósferas controladas

- Hornos de fabricación de ferroaleaciones (Fe-Si, Fe-Mn, Si-Mn, Fe-W, Fe-Mo, Fe-Ti, Fe-V, Etc.), incluyendo en este apartado, por la gran semejanza del procedimiento a la fabricación del silicio metal, carburo de calcio, entre otros.

Industria del aluminio:

- Celdas de electrólisis ígnea para transformar alúmina en aluminio fundido.
- Hornos de fusión y mantenimiento, a partir de chatarra o aluminio fundido.
- Hornos de recalentar placas o redondos para laminación o extrusión.
- Hornos de tratamientos térmicos, fundamentalmente recocido, pero también solubilización, maduración o envejecimiento.
- Equipos auxiliares, tales como: atmósferas controladas para tratamientos térmicos, precalentadores de matrices para extrusión, precalentadores de chatarra, hornos de tratamiento térmico de utillajes, entre otros.
- Se incluyen en este campo, no solo las aleaciones de aluminio, sino también el magnesio y sus aleaciones que denominamos metales ligeros en general.

Industria del cobre y sus aleaciones que se denominan en general metales no férricos pesados, tales como bronces, latones, cuproníqueles, alpacas, entre otros.

- Hornos de reducción de minerales.
- Hornos de fusión de chatarra del tipo de reverbero o crisol.
- Hornos de recalentamiento para laminación, forja, extrusión o estampación.
- Hornos de tratamientos térmicos, fundamentalmente recocidos y del tipo adecuado al producto a tratar.

- Equipos auxiliares, tales como: atmósferas controladas o vacío, equipos de barnizado o esmaltado de hilos de cobre, entre otros.

Industria de automoción, incluye la fabricación de coches, camiones, tractores, motocicletas y bicicletas. Es, tal vez, el campo de aplicación más variado y que exige mayor número de unidades y mayor sofisticación en los hornos, aunque su importancia económica sea inferior a la de otros campos. En este campo se tienen:

- Hornos de fusión de metales férricos y no férricos.
- Hornos de tratamientos térmicos, de todos los tipos posibles prácticamente, dada la gran variedad de piezas existentes.
- Hornos de preparación y pintado de carrocerías, de gran valor económico.
- Instalaciones auxiliares, tales como: generadores de atmósferas controladas, tanques de temple, cámaras de enfriamiento, desengrasadores y hornos de lavado y secado, entre otros.

Fundiciones, tanto de metales férricos, como de metales no férricos:

- Hornos de fusión y mantenimiento.
- Hornos de tratamientos térmicos, continuos o intermitentes, de los tipos adecuados a la producción, forma de las piezas, temperatura requerida.
- Equipos auxiliares, tales como hornos de secado de moldes y machos, y en alguna proporción, también atmósferas controladas.

Industrias de productos manufacturados:

- Fabricación de materiales eléctricos (transformadores y motores, sobre todo).

- Electrodomésticos (fundamentalmente la serie blanca).
- Talleres de caldería.
- Fabricación de piezas mecánicas.
- Máquina-herramienta.
- Industria electrónica.

Pueden incluirse hornos de todos los tipos y para prácticamente todas las aplicaciones. Se citan a continuación únicamente algunos ejemplos:

- Hornos de recocido de chapa magnética.
- Hornos de soldadura brillante de pequeñas piezas.
- Hornos de sinterizado y, en general, todos los utilizados en pulvimetalurgia.
- Grandes hornos de recocido para eliminación de tensiones de piezas fundidas y soldadas.
- Instalaciones completas formadas por varios hornos para tratamiento de herramientas.
- Hornos de recocido de bancadas de máquinas-herramientas.
- Hornos de difusión de hidrógeno en semiconductores.
- Hornos de secado al vacío de derivados de transformadores.

Industria química, en la que incluimos la petroquímica y la farmacéutica:

- Hornos de reformado (*reforming*) en la industria petroquímica.
- Hornos de esterilizado de productos medicinales.
- Industria auxiliar: entra dentro de este campo la fabricación de reductores, rodamientos, bujías, accesorios de tubería, frenos, direcciones, entre

otros. Merecen mención especial los talleres de tratamiento térmico cuyos elementos de trabajo son únicamente hornos y equipos auxiliares.

- Industria cerámica y del vidrio: hornos rotativos de fabricación de clínker en la industria del cemento.
- Hornos continuos tipo túnel de fabricación de piezas cerámicas industriales y hornos intermitentes, por ejemplo para cerámica artística.
- Hornos de fusión de vidrio y de materiales cerámicos (materiales cerámicos fundidos y fibras cerámicas).
- Hornos de tratamientos térmicos, fundamentalmente de vidrio, pero también aplicables a piezas cerámicas.

1.3. Partes principales de los hornos y función de cada una de ellas

Todos los hornos que se dividen de acuerdo con los fines con que fueron ideados y, por lo tanto tienen sus estructuras apropiadas para cada caso, tienen sin embargo, toda una serie de elementos constructivos comunes, aunque con diseños distintos.

La parte principal de cada horno es la zona de trabajo, donde se efectúa el proceso tecnológico prefijado. En la mayoría de los casos dicha zona se separa del ambiente por la bóveda, las paredes y la solera, construidas de materiales refractarios y termoaislantes. En su base tienen los cimientos, construidos de materiales comunes.

La mampostería refractaria de cada horno está unida por el esqueleto metálico o por un blindaje que la abarca en su totalidad.

Los hornos, donde la energía térmica es resultado de la ignición de un combustible, tienen los hogares para los sólidos o los mecheros o quemadores para el combustible. Muchas veces los hogares se suprimen, y la ignición de los combustibles se efectúa directamente en la zona de trabajo del horno.

La eliminación de los productos de combustión a la atmósfera se hace por la chimenea, a través de canales adecuados.

Muchos hornos tienen también instalaciones de intercambio o aprovechamiento del calor de los gases de escape, llamadas los regeneradores y los recuperadores. Para regular las corrientes de los gases tanto en los hornos como en los conductos se utilizan las válvulas, las aletas y otros cierres.

1.3.1. Cimientos

Los cimientos son la parte del horno que se apoyan directamente en el suelo, reconocidos como aptos para ese fin y que sostienen todas las demás partes del horno. Por supuesto, lo único que se requiere de los cimientos es su absoluta solidez como para aguantar toda la carga estática de las partes del horno dispuestas encima, así como eventualmente las posibles cargas dinámicas, sin sufrir deterioro alguno. Los cimientos deben tener dimensiones suficientes, como para que la presión contra el suelo no pase los valores admisibles.

1.3.2. Plataforma

La plataforma es el plano inmediatamente superior a los cimientos del horno y el inferior de la mampostería. Para su construcción se emplean distintos materiales: ladrillos refractarios y termoaislantes.

El tipo de construcción y el espesor de la plataforma se dictan por la estructura del horno. Su fin principal es dar una superficie sobre la cual pueden ser dispuestas todas las partes inferiores del horno.

1.3.3. Solera

Solera es la parte del horno sobre la cual se dispone el metal fundido o los materiales a calentarse, como soporta la carga del material debe ser suficientemente sólida, impermeable para el metal líquido, material vítreo y escorias, y químicamente estable respecto de estas últimas. En la mayoría de los casos tiene una forma de bañera bajo los hornos de reverbero o los eléctricos de fundición.

La solera debe ser capaz de soportar:

- El impacto mecánico a la caída de la chatarra
- La erosión por el acero fundido
- La penetración del acero y otros metales de bajo punto de fusión
- La hidratación posible entre campañas

1.3.4. Paredes

Las paredes rodean la zona de trabajo del horno. Generalmente ellas mantienen la bóveda, deben proteger la zona de las pérdidas de calor y no permitir el escape de los gases de hogar ni succión del aire de la atmósfera hacia el interior del horno. La cara más importante de las paredes es la interior. Debe ser pareja, limpia y tener juntas delgadas. Se hacen con ladrillos enteros y sanos, tanto de sus caras como de aristas y ángulos; en el horno se implementaron

paredes de fibra de vidrio, que como lo indica el párrafo anterior, es el aislante de calor.

Los refractarios de la pared a la altura de la línea de escorias deben eliminar o reducir la penetración de la escoria y ser compatibles con ella.

Por su parte, el refractario de la parte superior de las paredes debe soportar:

- El ataque de los humos con monóxido de hierro.
- Las salpicaduras de escoria al utilizar las lanzas de oxígeno y por el arco.
- Coque térmico por las fuertes fluctuaciones de temperatura desde baño fundido a carga de chatarra fría (posibilidad de desconchado, si no tiene resistencia al choque térmico).

1.3.5. Bóveda

La bóveda es una de las partes más importantes del horno. Generalmente soporta temperaturas muy altas y se calienta mucho. Como los gases calientes en la parte superior de la zona de trabajo se encuentran bajo una presión superior a la normal, la bóveda debe ser impermeable para con los mismos.

Los refractarios de la bóveda deben ser capaces de soportar:

- El ataque de los humos con monóxido de hierro, monóxido de carbono, entre otros.
- La radiación térmica del arco, cuando no está sumergido en la escoria espumosa.

- El choque térmico por fuertes variaciones de temperatura, y en ocasiones, impacto mecánico.

Existen cuatro tipos de bóvedas:

- Planas, de ladrillos de grandes dimensiones
- De arco (son las más frecuentes)
- Semicirculares
- Suspendidas

Bóveda de arco: se hace con ladrillos acuñaos o en combinación de estos con los derechos. Hay dos modos de construirla: la mampostería con trabazón y la anular. La ventaja del primer método está en la mayor densidad de la obra; en cambio, se dificulta la expansión de ladrillos, porque se encuentran firmemente ligados entre sí. Por eso en la bóveda de este tipo las grietas y los desplazamientos pueden extenderse mucho.

El sistema anular proporciona una bóveda de menor densidad. Entre los anillos se forman grietas, a través de las cuales los gases se abren el camino con relativa facilidad. En cambio se facilita la reparación, porque, generalmente, suelen caer ladrillos enteros, y los huecos formados tienen la forma rectangular. Las bóvedas de este tipo son más frecuentes.

Bóvedas suspendidas: se construyen con ladrillos perfilados que se fijan en las estructuras metálicas suspendidas en estribos especiales. El uso de las bóvedas suspendidas permite disminuir el consumo de calor para calentar la mampostería, porque primero el volumen de la misma es menor y segundo, es posible el empleo de materiales refractarios más livianos. Las bóvedas de este

tipo resultan ser fáciles para refecciones. Sus inconvenientes estriban en la construcción más complicada que la de otras bóvedas.

1.3.6. Canales

Los canales sirven para conducir los gases hasta la chimenea y suelen ser de sección rectangular y de techo plano o abovedado. El área de la sección se calcula a partir de la velocidad media admisible del movimiento de gases que ingresan en el canal que se toma 1-2 m/s y de la cantidad de gases que entran por segundo.

1.3.7. Juntas térmicas

Las juntas térmicas deben compensar la dilatación volumétrica de la mampostería por el calor. Asegurando la integridad de la mampostería, las juntas a la vez no deben rebajar la solidez de la misma y ser causa de escapes de gases, de metales o escorias. El ancho y la disposición de las juntas se determinan en concordancia con el calentamiento de una parte dada del horno y de los coeficientes de dilatación de los materiales por el calor.

1.3.8. Esqueleto metálico

Se llama esqueleto la estructura metálica que sujeta todas las partes del horno y absorbe los esfuerzos que se originan en la mampostería tanto durante su ejercicio, como posteriormente en los procesos de su trabajo. El esqueleto transmite estos esfuerzos a los cimientos. Las partes del esqueleto se aprovechan también para montar sobre ellas los accesorios del horno, como:

- Marcos

- Tapas
- Puertas
- Ventanas
- Mecheros

1.3.9. Ventanas de trabajo

Para cargar y descargar los materiales y objetos, para vigilar el proceso a que se someten y para reglarlo, en las paredes del horno se practican diversas aberturas, llamadas ventanas de trabajo. Una ventana tiene la bóveda en su techo, que soporta el peso de la parte de la pared que se encuentra encima y es revestida de los costados por los marcos de fundición o con placas metálicas. En los hornos de altas temperaturas también suelen tener la refrigeración por agua. Las aberturas se cierran por sus correspondientes puertas, a bisagras o a guillotina.

2. HORNOS DE GAS

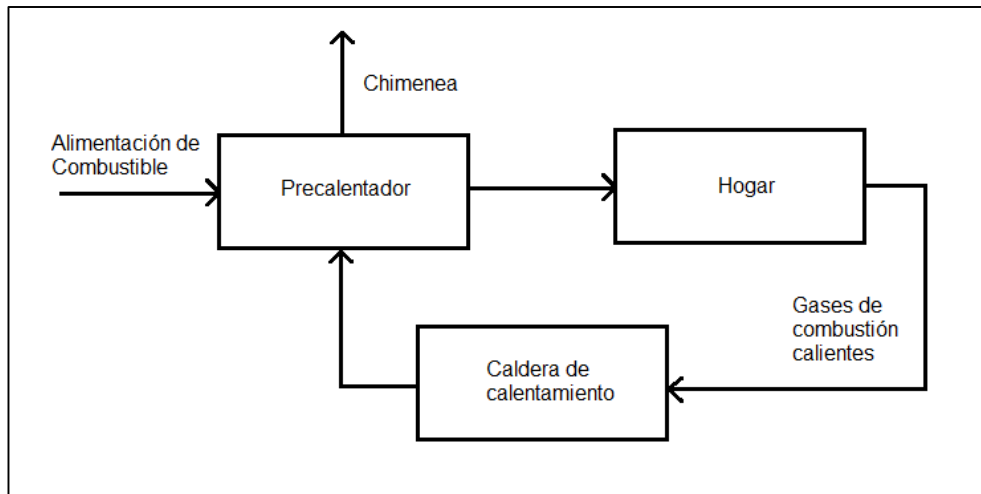
Un horno industrial de gas es la instalación donde se transforma la energía química de un combustible en calor que se utiliza para aumentar la temperatura de aquellos materiales depositados en su interior y así llevarles al estado necesario para posteriores procedimientos industriales.

2.1. Partes fundamentales de un horno de gas

Las partes fundamentales de un horno de gas son:

- Hogar o cámara de combustión: es el lugar donde se alojan los quemadores y se generan los gases de combustión. Puede coincidir con la cámara de calentamiento o ser una cámara independiente.
- Cámara de calentamiento: existen distintos tipos, dependiendo de la forma de operación del horno y de su función.
- Revestimiento aislante: recubre todas las cámaras y equipos del horno.
- Chimenea y tubos de escape de gases de combustión: suelen ir acoplados a intercambiadores para aprovechamiento de la energía calorífica que poseen, previo a la emisión a la atmósfera.

Figura 1. **Sistema a bloques de un horno de gas**



Fuente: elaboración propia, elaborado en AutoCAD 2015.

2.2. Clasificación de hornos de gas según su función

A continuación se clasifican y describen los hornos de gas según su función:

2.2.1. Hornos de fusión

Su función es la de fundir los materiales, hay varios subtipos:

- Hornos de crisol: el material se funde en un crisol metálico o cerámico. Los gases salen de la parte inferior y lamen exteriormente el crisol para expulsarse por la parte superior o boca de carga.
- Hornos de reverbero: la carga está en contacto directo con los humos pero no con el combustible. Su forma es de cuba rectangular con cámara de combustión separada o quemadores laterales. Los humos se desplazan

hacia el otro extremo calentando la carga por convección y por radiación de las llamas y la bóveda refractaria

- Cubilotes para fundición: horno vertical cilíndrico, similar al horno alto. Su función es también parecida a este, pero solo se busca la fusión eficaz y no la reducción del mineral de hierro. El combustible utilizado es coque o gas natural.

2.2.2. Hornos de recalentar

Su objetivo es el calentamiento de piezas para procesos como laminación, extrusión, forja, estampación y conformado. En todo momento se mantiene el estado sólido de las piezas, solo buscándose su reblandecimiento.

El tipo de horno adecuado depende de factores como la forma de las piezas a calentar y la temperatura final fundamentalmente. No obstante hay muchos más parámetros que influyen en la elección del tipo de horno, como por ejemplo, si el horno debe operar en continuo o discontinuamente.

Los tipos más importantes son:

- Hornos pit o de fosa: cámara rectangular donde se colocan las piezas a calentar verticalmente y por la parte superior.
- Hornos de mufla: es una caja con puerta en cuyo interior se alojan los quemadores y la solera puede ser cerámica o metálica.
- Hornos de campana. el material se carga y el horno propiamente dicho se eleva con grúas y se coloca cubriendo la carga.
- Hornos de empujadora: se emplea para calentar piezas de acero de forma continua, las piezas son empujadas por una máquina desde la parte frontal.

- Hornos de viga galopante: son muy parecidos a los de empujadora, pero con ventajas respecto a estos.
- Hornos de vagonetas: túnel cuya solera se compone de carros unidos entre sí que avanzan de forma semicontinua.
- Horno de solera giratoria: la cámara forma un túnel circular al que acceden los productos de combustión.
- Hornos especiales: responden a necesidades puntuales y específicas y su precio es muy elevado. Como ejemplo están los equipos de calentamiento por plasma, que pueden alcanzar temperaturas de 50/273,15 K o incluso de varios millones de grados, en equipos de fusión nuclear.

2.2.3. Hornos de tratamiento térmico

Su función es la de inferir una propiedad al material. Algunos de los tratamientos existentes son:

- Recocido, normalizado, temple, revenido, homogeneizado, solubilización, maduración o envejecimiento, entre otros.
- Cementación, carbonitruración, nitruración, cianuración, descarburación, entre otros.
- Recubrimiento por galvanización, estañado, esmaltado, entre otros.

2.3. Combustión

La combustión es el proceso mediante el cual un combustible orgánico se oxida para generar dióxido de carbono (cuando la combustión es completa) y agua, liberándose grandes cantidades de energía. Esta energía es la que es cedida al material a calentar en los hornos de gas, produciendo su calentamiento.

Los combustibles utilizados en hornos suelen ser combustibles fósiles o gases generados como subproducto de otros procesos (gas de agua).

2.3.1. Combustibles gaseosos

Los combustibles gaseosos empleados en los quemadores son los listados en la tabla I, siendo los más empleados el gas natural y el propano comercial.

El gas natural se compone principalmente de metano con pequeñas cantidades de etano y otros hidrocarburos. Carece prácticamente de gas incombustible y residuos sólidos. Su poder calorífico oscila entre 8,000 kcal/Nm³ y 10,500 kcal/Nm³. El propano comercial está compuesto en su mayoría por propano con pequeñas cantidades de etano y butano. Se obtiene de las primeras fracciones de destilación del petróleo y es fácilmente licuable para su almacenamiento en botellas a presión.

Tabla I. **Combustibles gaseosos más utilizados**

Tipo	Gas
Naturales	Gas natural
Gases licuados de petróleo (GLP)	Propano comercial Butano comercial
Otros	Gas pobre Gas de agua Gas de horno alto Gas de batería de coque Gas de síntesis Gas de gasógeno

Fuente: GAS NATURAL SDG, S. A. <http://www.empresaeiciente.com/es/catalogo-de-tecnologias/hornos-de-gas> Consulta: 12 de noviembre de 2014.

2.4. Componentes

A continuación se detalla los componentes más importantes en un horno a base de gas propano, los cuales son los siguientes:

2.4.1. Quemadores y equipos de combustión en el hogar

Los quemadores se alojan en el hogar aislado térmicamente, las funciones básicas que desempeñan son:

- Introducir o proyectar el combustible y el aire en la cámara de combustión
- Dirigir el desarrollo de la llama en el proceso de combustión
- Facilitar la ignición continua

La forma de la llama depende principalmente del combustible y de la potencia del quemador y resulta determinante tanto para la buena marcha operativa de un horno, como para la consecución de un rendimiento energético óptimo. Se puede modificar con:

- El grado de turbulencia. A mayor turbulencia llamas más cortas e intensas.
- La velocidad de mezcla. A mayor velocidad, llama más corta.
- El exceso de aire, que tiende a acortar la llama.
- La presión del aire de combustión, que acorta la llama y la hace más tensa.
- El grado de pulverización o atomización, en el caso de los combustibles líquidos. A mayor atomización, llama más corta.

Dependiendo del estado del combustible que se vaya a quemar y del tipo de llama que se quiera conseguir, se tienen diferentes tipos de quemadores.

La utilización eficiente de los quemadores y equipos de combustión en los hornos industriales debe ser un objetivo prioritario para:

- Obtener la máxima eficiencia de la combustión
- Operar con consumos específicos mínimos
- Calentar las cargas en el grado y tiempo adecuados
- Mejorar las condiciones de trabajo y ambientales

Los quemadores más interesantes debido a sus mejoras de operación y rendimiento energético son:

- Quemadores de alta velocidad: aumentan la transferencia de calor por convección a la carga, consiguiendo mayor uniformidad de temperatura.
- Quemadores de llama plana: desarrollan la llama en forma de disco para calentar por radiación desde la bóveda. Reducen los tiempos de calentamiento para laminación del acero en un 20 % - 25 %.
- Quemadores recuperativos: llevan incorporado un recuperador para precalentar el aire de combustión a partir del calor de los humos.
- Quemadores regenerativos: funcionan por pares que trabajan alternativamente, precalentando bolas de material cerámico en uno de ellos, con los humos de la otra.
- Tubos radiantes de alto rendimiento.
- Quemadores oxigas: utilizan oxígeno puro como comburente.

2.4.2. Cámara de calentamiento

Tienen formas muy distintas dependiendo de la función que desempeñe el horno (ver punto 2.2.2, hornos de recalentar).

2.4.3. Materiales refractarios y aislantes

Su objetivo es aislar el interior de los hornos con un doble propósito:

- Reducir las pérdidas de calor.
- Conseguir unas condiciones ambientales en el exterior suficientemente aceptables.

La capa interior del aislante térmico debe ser capaz de:

- Resistencia térmica: soportar el ambiente interior (humos, aire en circulación, gases reductores, entre otros).
- Resistencia química: contener sin reacción química, en términos generales, metales y no metales fundidos, a alta temperatura, entre otros.

Dependiendo de la temperatura máxima que deban soportar, se tienen:

- Productos calorífugos (hasta 423,15 K): la humedad afecta mucho a sus propiedades aislantes.
- Productos aislantes (hasta 1273,15 K): hay muchos tipos, como la diatomita, el carbonato de magnesio, las lanas minerales, la versiculita, la arcilla y perlita expandida y el silicato cálcico.
- Productos refractarios (hasta 1773,15 K): no tienen un punto de fusión determinado, sino que funden en un rango de temperaturas (fusión pastosa). Entre ellos están los silicatos de aluminio, las arcillas refractarias, los hidratos y óxidos de aluminio y el carburo de silicio.
- Fibras cerámicas (hasta 1773,15 K): son capaces de soportar la acción directa de la llama.

2.4.4. Chimenea y tubos de escape

Son los conductos que llevan los gases de combustión desde el hogar y la cámara de calentamiento hasta el exterior. Como los gases de combustión siguen calientes después de ceder calor a la pieza, se suelen instalar intercambiadores de calor para aprovechar esa energía residual en precalentar los gases alimentados a los quemadores.

2.5. Ventajas de los combustibles gaseosos frente a los líquidos

A continuación se describen las ventajas de los combustibles gaseosos en comparación con los líquidos.

2.5.1. Aspectos relacionados con el estado físico y composición química

Menores costes de preparación del combustible por:

- Eliminación de costes de calentamiento, bombeo y pulverización; mejor rendimiento energético derivado de:
 - Posibilidad de reducir el exceso de aire al mínimo.
 - Ausencia de inquemados.
 - Calentamientos directos con llama o gases de combustión.
 - Facilidad de implantación de sistemas de recuperación de calor y regulación automática.
 - Posibilidad de reducir en gran medida la temperatura de los gases de combustión (por debajo de los 373,15 K) debido a la ausencia de generación de rocío ácido (condensación de agua con ácido sulfúrico disuelto).

Menores costes de mantenimiento por:

- Ausencia de sistemas de preparación del combustible y almacenamiento en algunos casos.
- Mayor duración de los equipos consumidores.

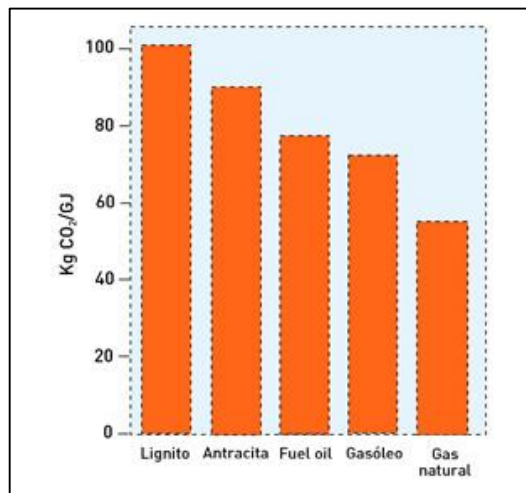
Menor inversión en las instalaciones de combustión.

2.5.2. Aspectos relacionados con el estado físico y composición química

Inherentes a la naturaleza del combustible:

- Eliminación de emisiones de dióxido de azufre y trióxido de azufre (lluvia ácida)
- Ausencia de inquemados sólidos o cenizas
- Menores emisiones de monóxido de carbono y dióxido de carbono (efecto invernadero)
- Menores emisiones de óxido nítrico y dióxido de nitrógeno (lluvia ácida y efecto invernadero)

Figura 2. **Ventajas de la utilización de gas frente a combustibles líquidos y electricidad**



Fuente: GAS NATURAL SDG, S. A. <http://www.empresaeiciente.com/es/catalogo-de-tecnologias/hornos-de-gas> Consulta: 12 de noviembre de 2014.

2.5.3. Menores emisiones por unidad de producto fabricado

- Hornos de reverbero: permite utilizar tecnologías como los quemadores regenerativos y unidades de fusión rápida que hacen que compitan con los hornos de crisol, presentando ahorros de combustible de más de 50 % respecto de estos.
- Hornos continuos de recalentamiento: producen aumento de la productividad y ahorro energético por:
 - Reducción de las pérdidas por oxidación y descarburación (de un 1,5 % - 2 % a un 1 %).
 - Disminución de pérdidas por cascarilla: aumenta la producción entre un 1 % y un 2 %.

- Las pérdidas de calor sensible son menores que en el caso del *fuel-oil* por ser menor la cantidad de gases.
 - Mayor duración de los refractarios.
 - Menor necesidad de limpieza del horno.
- Industria ladrillera y de la cerámica artística: su uso revierte en:
 - Aumento de la producción.
 - Disminución en el consumo específico de la planta (entre un 4 % y un 15 %).
 - Aumento de la calidad del producto acabado.
 - Menor volumen de emisiones.
 - Reducción de los costes de explotación frente a la energía eléctrica.
- Hornos de recocido de gas: la sustitución por hornos a gas de los hornos eléctricos supone un ahorro energético de cerca del 50 %. No obstante, los hornos de gas tienen un menor rendimiento energético que los eléctricos.
- Hornos discontinuos de pequeña forja: su principal ventaja es la flexibilidad para adaptarse a todo tipo de formato de las piezas que proporciona, aparte de un buen rendimiento térmico.

2.5.4. Inconvenientes

- Las combustiones son peligrosas porque existe riesgo de explosión, y por tanto los depósitos de gas deben estar alejados del horno, con el consiguiente coste de bombeo.
- Los hornos de gas solo pueden calentar piezas enteras, al contrario de los eléctricos, que pueden calentar partes independientes de la pieza.

- Las emisiones, aunque son menores que en el caso de combustibles líquidos, siguen siendo una desventaja frente a los hornos eléctricos.
- Operaciones de limpieza más frecuentes que en hornos eléctricos.
- Menor rendimiento energético que los hornos eléctricos.

2.6. Aplicaciones

Los hornos de gas se aplican en un gran número de procesos dentro de diferentes campos de la industria, aunque en muchos de ellos su aplicación es compartida con hornos eléctricos, siendo incluso la opción minoritaria. Los principales campos de aplicación son:

Tabla II. **Rendimientos energéticos de las diferentes fuentes de energía**

Tipo de combustible en el horno	Rendimiento del horno (%)
Combustible gaseoso	65 - 65
Combustible líquido	50 - 55
Electricidad	65 - 70

Fuente: GAS NATURAL SDG, S. A. <http://www.empresaeficiente.com/es/catalogo-de-tecnologias/hornos-de-gas> Consulta: 12 de noviembre de 2014.

- Industria siderúrgica, desde hornos altos de reducción de mineral de hierro hasta hornos de tratamientos térmicos de barras, chapas, perfiles, entre otros.
- Industria del aluminio, magnesio y sus aleaciones.
- Industria del cobre y sus aleaciones (bronces, latones, cupro-níqueles, alpacas, entre otros.).
- Industria de la automoción, que es el campo de aplicación más variado y que exige mayor número de unidades y mayor sofisticación de los hornos.

- Fundición tanto de metales férricos como no férricos.
- Industria de productos manufacturados. Aquí están incluidos los materiales eléctricos, la industria de los electrodomésticos, los talleres de calderería, la fabricación de piezas metálicas, la industria de la máquina herramienta, la industria electrónica, entre otros.
- Industria química, incluyendo la farmacéutica y la petroquímica.
- Industria auxiliar. En este campo entra la fabricación de rodamientos, bujías, accesorios de tubería, frenos entre otros.
- Industria de cerámica y del vidrio, que son grandes consumidoras de energía.

Tabla III. **Descripción de aplicación por tipo de horno**

Tipo de horno	Aplicación
Crisol	Fusión de materiales no férricos (bronces, latones, entre otros.) y ligeros (aleaciones de aluminio).
Reverbero	Fábricas de aluminio, fusión de chatarra, operaciones de mantenimiento de temperatura de material fundido.
Cubilote	Fusión de chatarras de hierro y cobre.
Fosa	Empalamiento térmico de lingotes.
Empujadora	Calentamiento continuo de lingotes y palanquillas.
Viga galopante	Calentamiento continuo de lingotes y palanquillas.
Solera giratoria	Fabricación de tubos y piezas forjadas.
Mufla	Pequeñas cargas discontinuas.
Campana	Recocido de bobinas y piezas de acero.

Fuente: GAS NATURAL SDG, S. A. <http://www.empresaeficiente.com/es/catalogo-de-tecnologias/hornos-de-gas> Consulta: 12 de noviembre de 2014.

2.7. Medidas de eficiencia

Ante la necesidad de conseguir la máxima eficacia térmica es fundamental el desarrollo de nuevas técnicas encaminadas a mejorar la eficiencia energética

en cada etapa de la vida del horno. Algunas de estas técnicas se describen a continuación.

2.7.1. Diseño y utilización del horno

La elección de tipo de horno, su capacidad, tipo de calefacción y forma de operar, deben siempre realizarse mediante un estudio técnico-económico, optimizando el diseño para adecuarlo al objetivo.

Debe procurarse que el horno se utilice exclusivamente para realizar sus operaciones intrínsecas.

Siempre que sea posible debe pasarse del trabajo discontinuo a continuo; en los procesos discontinuos deben utilizarse hornos de baja inercia térmica por alcanzar más rápidamente la temperatura de operación y tener menos pérdidas energéticas en las paradas.

Una buena estanqueidad del horno evitará entradas de aire incontroladas. El empleo de materiales altamente refractarios permite temperaturas más altas de llama, con la consiguiente mejora de la eficacia.

Debe trabajarse, siempre que sea posible, a plena capacidad de la instalación. En los hornos de funcionamiento intermitente debe programarse el trabajo de tal forma que los tiempos de espera sean mínimos.

Debe automatizarse al máximo el control del proceso, así como las operaciones de carga y descarga, evitando operaciones erróneas. Estudiar la posibilidad de cambiar el proceso, en sí mismo, por otro de menor consumo energético, tal como:

- Aprovechar la energía desprendida en los procesos exotérmicos, no operar nunca a temperaturas más altas de lo necesario.
- Emplear aire enriquecido y precalentado para mejorar la cinética del proceso y el balance térmico.
- Emplear oxígeno puro como comburente para minimizar el volumen de gases de combustión.
- Recuperar los efluentes valiosos y aprovechar térmicamente el carbono y el monóxido de carbono para producir vapor mediante su combustión.
- Mantener una buena calidad de los productos, lo que conduce a una mayor eficacia en el uso del combustible.
- Acoplar el horno con el resto del proceso, utilizando su energía residual en etapas que consumen energías de calidad decreciente.
- Utilizar quemadores recuperativos o regenerativos.

2.7.2. Alimentación

- Evitar una excesiva humedad en el producto a tratar secándolo antes de su introducción al horno mediante gases residuales u otras energías semidegradadas.
- Estudiar el almacenamiento de las materias primas, evitando, para las que capten fácilmente humedad, tiempos prolongados a la intemperie.
- Mejorar el proceso químico y el intercambio térmico mediante la utilización de materias primas con granulometrías adecuadas.
- Utilizar materiales semielaborados procedentes de procesos en los que se obtienen con una eficacia térmica mayor, que la que se consigue en el proceso principal.
- Utilizar fundentes con el fin de rebajar la temperatura de operación.

2.7.3. Combustión

- Optimizar la combustión utilizando equipos de análisis de gases y regulándola automáticamente.
- Utilización de combustibles precalentados.
- Trabajar a una temperatura de llama tan próxima a la teórica como sea posible.

2.7.4. Efluentes

- No refrigerar, o no dejar enfriar, los productos intermedios que posteriormente deban ser calentados.
- La temperatura de salida de gases y productos más adecuada es la necesaria para la etapa siguiente.
- Si la temperatura de los efluentes es mayor que la requerida, pueden utilizarse para precalentar la carga, el aire de combustión y el combustible, utilizándolo en otra parte del mismo proceso o instalar una caldera de recuperación.
- Si la temperatura de los gases de calentamiento es más alta de la requerida, recircular parte de los gases efluentes para disminuir el exceso de aire, limitando la temperatura en la cámara de combustión y aumentando la velocidad del gas en las zonas de pre calefacción y calefacción.

2.7.5. Mantenimiento y pérdidas

- Programar el mantenimiento preventivo para evitar paradas imprevistas.
- Calcular el empleo óptimo de los aislantes para evitar temperaturas de pared excesivas.

- Eliminar la visión desde el exterior de las zonas rojas del horno con el fin de cortar pérdidas por radiación.
- Utilizar el calor de las refrigeraciones para usos diversos, tales como calefacción, vaporización al vacío, entre otros.
- Acortar el tiempo de las paradas, evitando perder todo el calor acumulado en los hornos.

3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL HORNO AUTÓNOMO

El diseño de la estructura del horno está basado en las limitaciones y especificaciones que se tienen para trabajar los guantes de látex, las dimensiones que se tienen de límite para el espacio de trabajo y las especificaciones de temperaturas son las siguientes.

3.1. Limitaciones y especificaciones

Dimensiones:

- Ancho: 3,66 m (12')
- Largo: 33 m (108' 4")
- Margen de altura para trabajar el horno: 4,87 m (16')
- Temperaturas: rango de operación entre 363,15 a 398,15 K (90 a 125 °C).

La meta es alcanzar los valores de temperatura requeridos en función del espacio dado, el objetivo primordial aquí, es realizar un horno lo mejor posible para el secado de los guantes; en este caso tiene que ser lo más preciso y constante posible, ya que no se tienen muchas estaciones para el secado de los mismos.

El diseño está basado en el procedimiento para hacer guantes de látex, por eso dadas las especificaciones de espacio, se realizó el diseño de los mandriles; estos son los que van a cargar las hormas de porcelana; estas hormas son los moldes para los guantes de diferentes tallas; en función de esto se diseñó cuántas estaciones tendrá la máquina, el tamaño de los guantes y finalmente las

estaciones que estarán dentro del horno, que se tienen un total de 29 directamente dentro del horno y 32 estaciones que afecta la temperatura del mismo.

3.2. Materiales

Los materiales considerados para la elaboración del horno, están divididos en cinco partes que son:

- Estructura
- Aislamiento
- Instrumentación
- Tren de gas
- Instalación eléctrica

3.2.1. Materiales de la estructura

Para la estructura, que es el “esqueleto” de toda la línea de producción, se utilizaron los siguientes materiales, en descripción y no cantidad se tienen:

- Tubo rectangular de 76⁻³ m x 76⁻³ m x 6,3⁻³ m (3 x 3 “ 1/4” grosor)
- Tubo rectangular de 50⁻³ m x 50⁻³ m x 3,0⁻³ m (2 x 2 “ 1/8” grosor)
- Angulares de 38⁻³ m (1 ½ “)
- Angulares de 50⁻³ m (2 ”)
- Lámina diamantada de 3,0⁻³ m (1/8”) de grosor

Insumos y herramientas:

- Máquina para soldar de voltaje alterno
- Pulidora de discos varios
- Tronzadora
- Electrodo 6013
- Cortadora de plasma
- Torno

3.2.2. Materiales de las paredes aislantes

Para aislar el calor del horno y mantener la temperatura, se utilizaron los siguientes materiales:

- Lámina galvanizada 1,58⁻³ m (1/16 ")
- Planchas aislantes de fibra de vidrio
- Remaches de 4,76⁻³ x 12,7⁻³ m (3/16" x 1/2")
- Silicón y espuma sellante para tapar las fugas
- Tornillos de 6,35⁻³ x 76⁻³ m (1/4" x 3")

Herramientas:

- Ponchadora de remaches
- Cortadora de lámina
- Destornilladores
- Navaja para la fibra de vidrio

Para los materiales que corresponden a instrumentación, tren de gas y conexiones eléctricas, serán explicados más a fondo en los capítulos 4, 5 y 6 correspondientemente.

3.3. Partes del horno

El horno está dividido en las siguientes partes:

- Estructura metálica
- Aislamiento
- Plenum
- Recamara de calentamiento
- Dámpers
- Fuerte de calor
- Tren de gas
- Quemador
- Conexión eléctrica

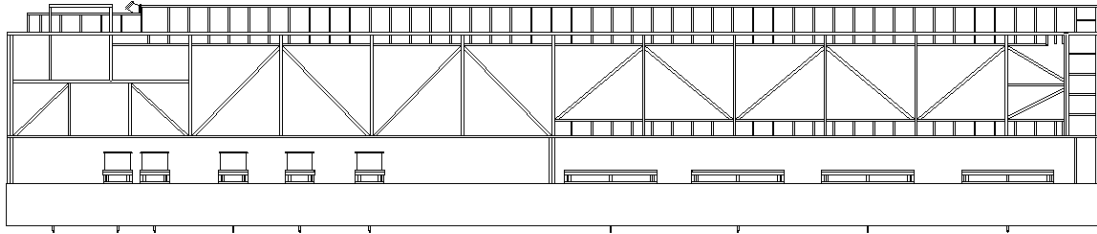
3.4. Estructura metálica

La estructura metálica fue diseñada con base en las restricciones de espacio que se tenían, esta está situada en la parte superior de la línea de producción y la línea tiene un movimiento “circular”; con esto se hace referencia a que donde empieza el proceso termina y vuelve a empezar de nuevo, es cíclico.

La estructura está construida con tubo cuadrado de 0,076 x 0,076 m (3" x 3") con un grosor de $6,35 \cdot 10^{-3}$ m ($\frac{1}{4}$ ") y tubos de 0,05 x 0,05 m (2" x 2") por 0,003 m ($\frac{1}{8}$ ") de grosor; esta está sobre la primera fase de la línea de producción y entre los ductos de retorno del aire caliente.

El diseño de la estructura metálica del horno es la siguiente:

Figura 3. **Diseño de la estructura metálica de la línea de producción**



Fuente: elaboración propia con programa de AutoCAD 2015.

3.5. Aislante

Para el aislante del horno se utilizaron planchas de fibra de vidrio forradas con una capa metálica flexible. Esta fibra de vidrio tiene un grosor de 50^{-3} m (2") y se cubrió todo el horno, desde que entran los guantes hasta que salen.

Para el ducto del plenum se usó lámina galvanizada y tapaderas para el techo del horno para cualquier reparación o mantenimiento.

Figura 4. **Línea de producción, donde circulado con línea amarilla equivale a la sección del horno**

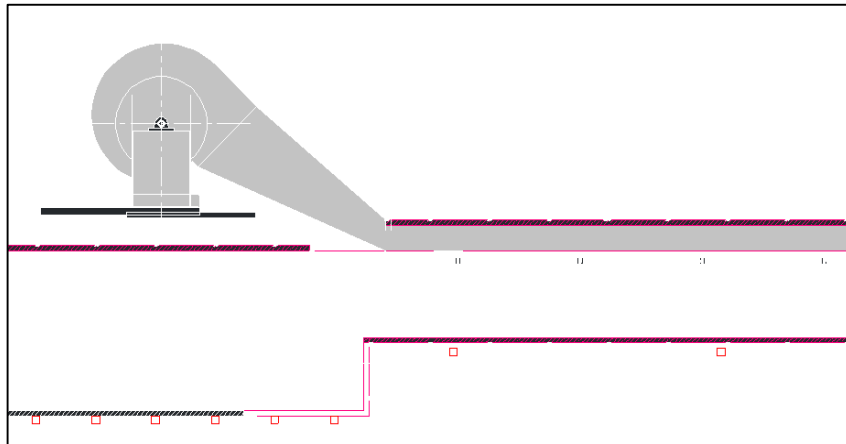


Fuente: planta de producción. Manufacturas Vista al Mar S. A.

3.6. Plenum

El plenum, es una recámara donde se almacena aire caliente, que a través de los dámpers deja pasar el aire caliente para aumentar la temperatura; en este caso la fuente de calor depende de la demanda de cada estación. La imagen a continuación muestra la salida de la turbina que es donde va a ingresar el aire caliente; a esa sección llamada plenum, donde estará el aire caliente almacenado.

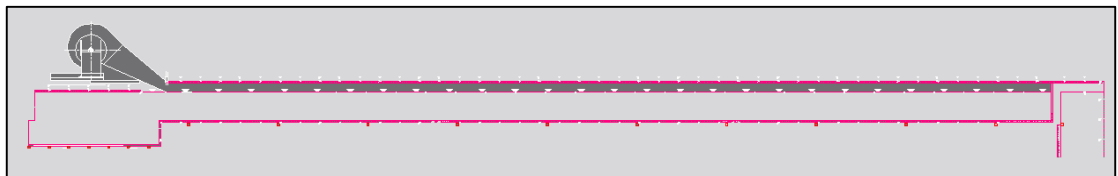
Figura 5. **Diseño del plenum (color gris)**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

En la siguiente imagen se muestra el esquema del plenum completo de color gris oscuro y el contorno del horno que es color fucsia.

Figura 6. **Plenum completo en el horno (color gris)**



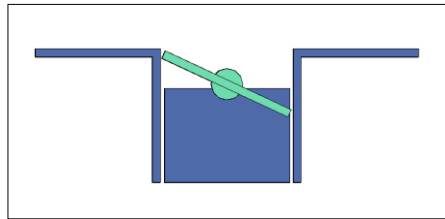
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

3.7. **Diseño de los dámpers de la bóveda y del retorno**

Se tiene como dámpner a una compuerta que está entre el plenum y la bóveda de calentamiento que va a abrirse automáticamente, si se necesita más

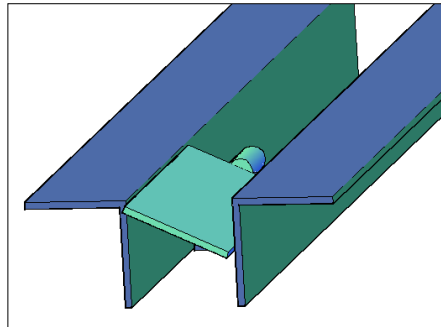
calor dentro de la bóveda o se va a cerrar; si se tiene exceso de temperatura gracias a la instrumentación utilizada.

Figura 7. **Dámper completamente cerrado vista 2D**



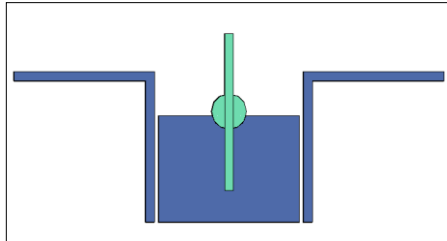
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Figura 8. **Dámper completamente cerrado vista 3D**



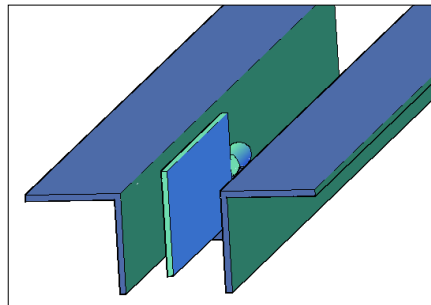
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Figura 9. **Dámper completamente abierto vista 2D**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Figura 10. **Dámper completamente abierto vista 3D**

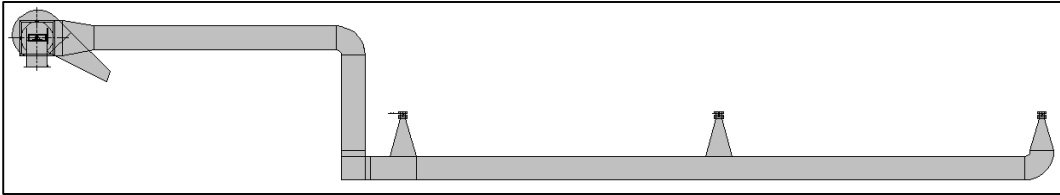


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

3.8. Retroalimentación del horno

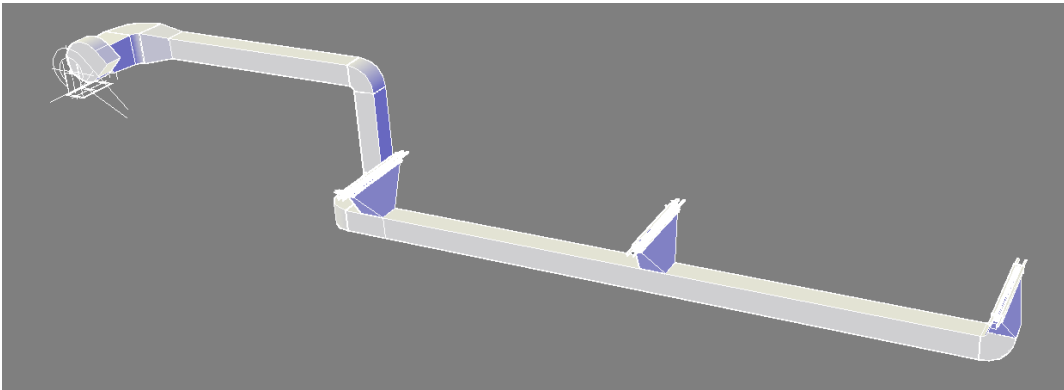
Los retornos son tres en total; estos están compuestos principalmente por un dámper cada uno, que son iguales a los que se usan en el plenum para controlar el flujo de aire que va a succionar cada uno; el ducto individual une los tres ductos para dirigirlo al retorno que va hacia la turbina para reciclar el aire caliente.

Figura 11. **Retornos del horno vista 2D**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Figura 12. **Retornos del horno vista 3D**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

4. INSTRUMENTACIÓN

La instrumentación utilizada para este horno es bastante variada y específica para las funciones que se quieren desempeñar, estas van desde sensores de temperatura hasta sopladores; también se tiene que contar con componentes precisos y seguros, ya que se manejarán temperaturas que van de los 343,15 K (70 °C) hasta los 423,15 K (150 °C).

4.1. Soplador principal

Para el funcionamiento del soplador principal, que es el sistema que va a inyectar el aire caliente al plenum, se tienen tres componentes principales que se describen a continuación:

4.1.1. Turbina

Este es el encargado de generar el aire a la hora de ser girado gracias al motor de 7,46 kW (10 HP); este es un soplador industrial cuya salida va conectada directamente al plenum.

Figura 13. **Soplador a utilizar**



Fuente: *boletín No. 51 de New York Blowers*, marzo 2009. *Soplador de propósito general*. p. 1.

Figura 14. **Soplador instalado en el horno**



Fuente: Línea de producción núm. 4, Manufacturas Vista al Mar S. A.

4.1.2. Motor 7,46 kW (10 HP)

El motor utilizado para mover el soplador es de 7,46 kW, es un motor Baldor que se puede operar con 220 V AC o 480 V AC.

Figura 15. **Motor 7,46 kW del soplador**



Fuente: *Standard Product Catalog 501. Catálogo de productos de la marca BALDOR.* p. 31.

4.1.3. Variador de frecuencia 7,46 kW

Se utilizó un variador de frecuencia de 7.46 kW modelo JNTHBCBA0010BE-U, de la misma capacidad del motor utilizado en la turbina; este es un variador de frecuencia marca Teco Westinghouse, trifásico.

Para arrancarlo se programó el parámetro de rampa para que el arranque del mismo sea suave y de igual manera a la hora de apagarlo.

Según el modelo que tiene el variador de frecuencia en sus descripciones técnicas y basadas en el manual de operación y funcionamiento, se tiene la siguiente descripción:

Figura 16. Descripción del variador de frecuencia según modelo

JNTH	BC	BA	0001	AC	—	U	F
7300CV Series	Keypad Panel	Enclosure	Horsepower	Phase of Input Power		UL Approval	Noise Filter
	BC : LED*	BA:	R500 : 0.5 HP	AC: Single phase 220V		U: Yes	Blank: None
	BG : LCD*	Open	?	BC: Three phase 220V			F: Built-in
	BL : Blind*	chassis IP20 or IP00	0075 : 75 HP	BE: Three phase 440V			
		BB: Enclosed Wall mounted type (NEMA1)					
*BC:LED (Standard) BG:LCD/BL:Blind (Production by order base)							
*BB: only for 200V 15~25HP/400V 20~30HP							
*BA: NEMA1 kit is available							
JNTH:	De la serie de variadores 7300CV			BC:	LED en el panel frontal		
BA:	Chasis Abierto			0010:	10 HP de potencia		
BE:	Tres fases de 440V			U:	Aprobación UL		
:	Espacio en blanco significa que no trae filtro.						

Fuente: *Teco Inverter 7300 CV*. Manual técnico del variador de frecuencia. p. 3.

Figura 17. Variador de frecuencia 7,46 kW



Fuente: *Teco Inverter 7300 CV*. Manual técnico del variador de frecuencia. p. 2.

4.2. Turbina para agregar el gas

La turbina utilizada para agregar el gas al quemador es la encargada de agregar el gas para que se lleve a cabo el proceso de ignición de la mano con la chispa del quemador, esta está conectada a directamente a la línea de 120 V AC a 60 Hz.

Figura 18. Quemador utilizado e instalado



Fuente: Línea de producción núm. 4, Manufacturas Vista al Mar S. A.

4.3. Transformador de alto voltaje

El transformador utilizado para crear la chispa, que junto al gas harán la ignición para calentar el aire que será dirigido hacia el plenum por medio del soplador conectado al motor de 7,46 kW. Para conectar la salida del transformador al chispero, se necesita un cable especial que soporte alto voltaje y aislado. Este es alimentado por 110 V AC y en su salida se tienen lo que es 6000 V AC y una corriente de 20 mA.

Figura 19. **Transformador de alto voltaje**



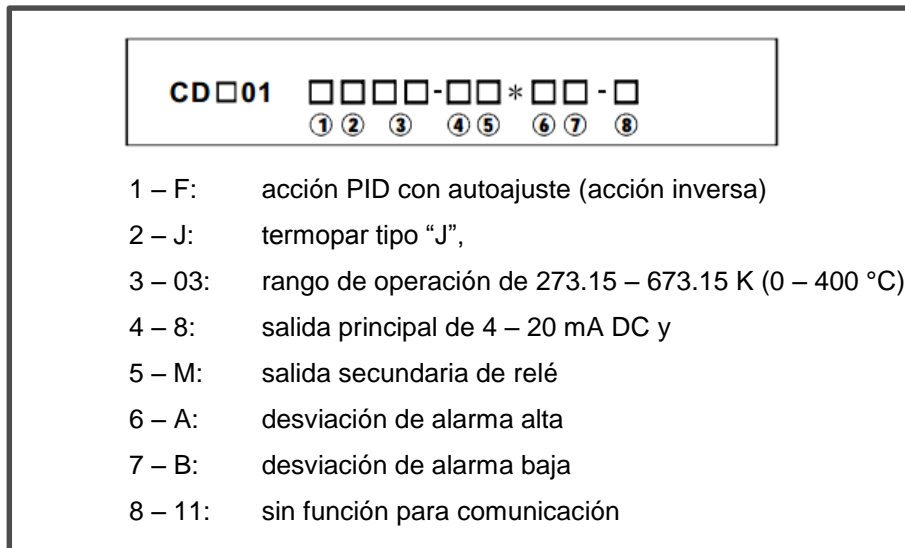
Fuente: Línea de producción núm. 4, Manufacturas Vista al Mar S. A.

4.4. Controladores de temperatura PID

El control de temperatura utilizado es un controlador PID CD101, código FJ02-8M *AB-11. Estos controladores son utilizados para el ajuste automático de los dámpers y la salida de gas para el quemador; todos utilizan un termopar tipo “J” como transductor de temperatura.

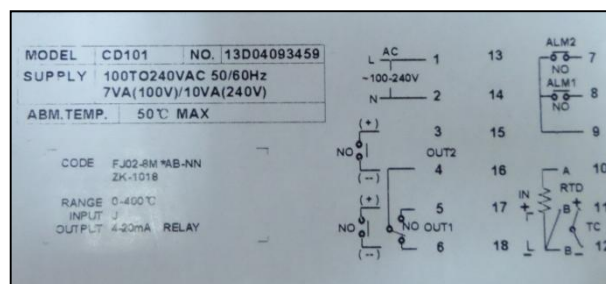
Según el código del controlador, se pueden determinar las especificaciones del mismo basados en la siguiente imagen del manual:

Figura 20. Descripción del controlador de temperatura según modelo



Fuente: Manual del controlador de temperatura PID CD101, *Digital Controller CD101/ CD401 /CD501/ CD701/ CD901/ Instruction manual.* p. 1.

Figura 21. Especificaciones inscritas en el controlador



Fuente: Manufacturas Vista al Mar S. A.

Figura 22. **Controlador de temperatura PID CD101**



Fuente: Manufacturas Vista al Mar S. A.

Figura 23. **Controlador de temperatura PID CD101, panel y terminales**



Fuente: Manufacturas Vista al Mar S. A.

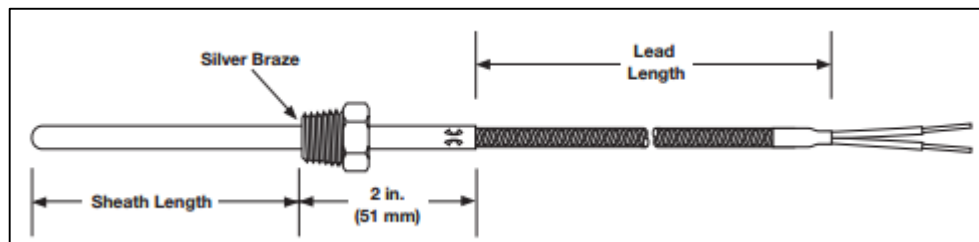
Los cuatro números en verde que tienen la descripción PV, corresponden al valor de lectura del controlador.

Los cuatro números en rojo que están en medio, tienen la descripción SV, y se refieren al valor que se establece para que el controlador mantenga la temperatura cerca de este número.

4.5. Termopar tipo J

El termopar es un transductor que sirve para medir temperatura; este entrega señal en milivoltios a través de sus cables que son de un material que responde con los cambios de temperatura; hay diversos tipos de termopares pero su diferencia principal, son los rangos de operación a los que pueden llegar estos, en el caso de la termopar tipo J, su rango de operación es de los 273,15 – 473,15 K (0 – 200 °C).

Figura 24. Termopar tipo J



Fuente: WATLOW. *Catálogo de termopares*. p. 36.

Los termopares fueron colocados en la parte de abajo del horno, ya que ahí fue donde se obtuvieron las mejores mediciones gracias a una serie exhaustiva de pruebas; esto puede compararse con un *Data Logger* que grababa las temperaturas dentro del horno (instrumento que se detalla su información en el capítulo 7) y al momento de descargar los datos en la computadora, se comparó el dato de este con los datos leídos en los controladores de temperatura.

Figura 25. **Ubicación e instalación termopares en el horno**



Fuente: Línea de producción núm. 4, Manufacturas Vista al Mar S. A.

Figura 26. **Instalación completa termopar y caja controladora de dámper**



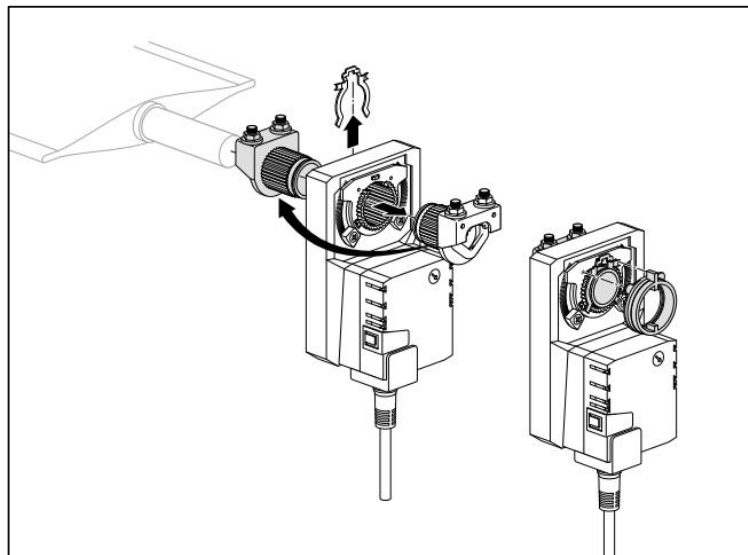
Fuente: Línea de producción núm. 4, Manufacturas Vista al Mar S. A.

4.6. Controladores de las compuertas dámper

Este controlador es un Belimo LMX120-SR, es utilizado para mover las compuertas, llamadas d mpers; esto se hizo de manera automática a través de un dispositivo que recibe una señal de 2 a 10 V DC, donde tiene un movimiento en contra de las manecillas de reloj o se puede ajustar para que el movimiento sea a favor de las manecillas de reloj a la hora de abrir.

Esta señal es recibida por el controlador de temperatura PID CD101 pero en señal de 4 - 20 mA, para convertirla a señal de 2 a 10 V DC; solo se colocó una resistencia de 500 ohms, dada la ley de Ohm para convertir esta corriente a voltaje y tiene un rango de alimentación de 85 a 265 V AC, 50/60 Hz.

Figura 27. **Montaje del controlador Belimo**



Fuente: *BELIMO LMX120 SR. Manual de operación e instalación controlador.* p. 5.

Figura 28. **Controlador Belimo ya instalado**



Fuente: Línea de producción núm. 4, Manufacturas Vista al Mar S. A.

4.7. Diferenciador de presión

El diferenciador de presión es un dispositivo marca Setra modelo M260 Multi-Sense DPT260-M2, con el que se puede medir la diferencia de presión de algún sistema con referencia a la presión atmosférica o entre dos presiones específicas; para este trabajo, fue crítico, el dispositivo para determinar el rango de frecuencias de operación del variador de frecuencia del soplador del horno cuando estén todos los dámpers cerrados y cuando están todos abiertos

La medida que utiliza este dispositivo es de columnas de agua (W.C.), tienen varios rangos; este fue ajustado al mejor rango de operación para el sistema.

Figura 29. **Diferenciador de presión Setra M260 Multi-Sense**

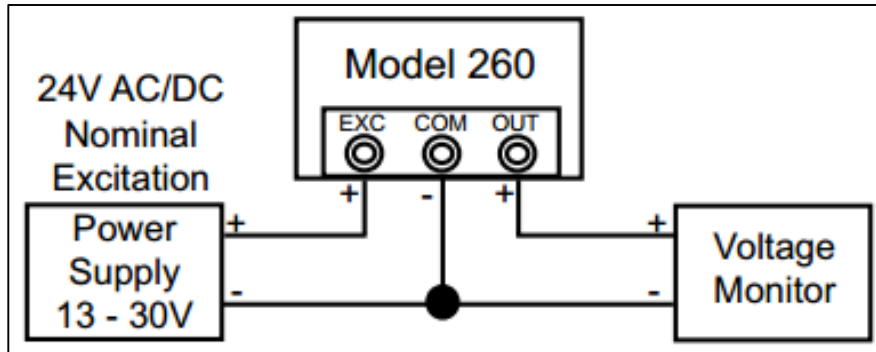


Fuente: Línea de producción núm. 4. Manufacturas Vista al Mar S. A.

Con este dispositivo, según el modelo DPT260-MS2, se puede elegir uno de cuatro rangos que tiene, que son de: 1, 2, 5 y 10“ W.C.; esto equivale en el Sistema Internacional a 249,08, 498,17, 1245,44 y 2490.88 pascales respectivamente.

Este dispositivo necesita una alimentación de 24 V DC; para su funcionamiento, se puede elegir entre una salida de voltaje o de corriente:

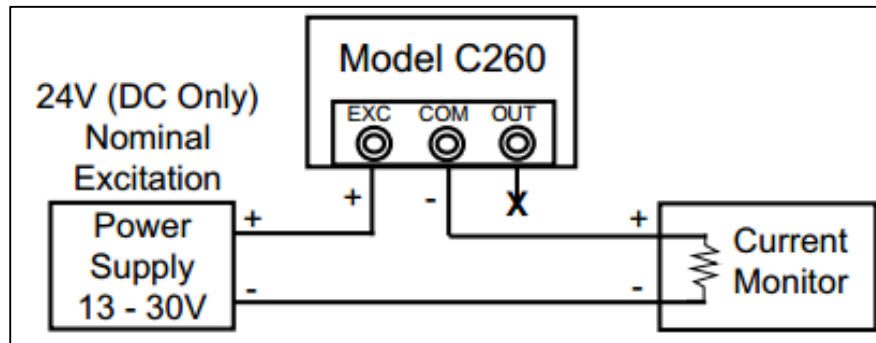
Figura 30. **Conexión a tres cables (salida voltaje)**



Fuente: SETRA. Manual de operación e instalación del diferenciador de presión. *Installing guide* "Multi-Sense" Model 260 Series. p. 1.

Con esta conexión se obtiene una salida de voltaje de 1 – 5 V DC o 2 - 10 V DC (conexión a 3 cables).

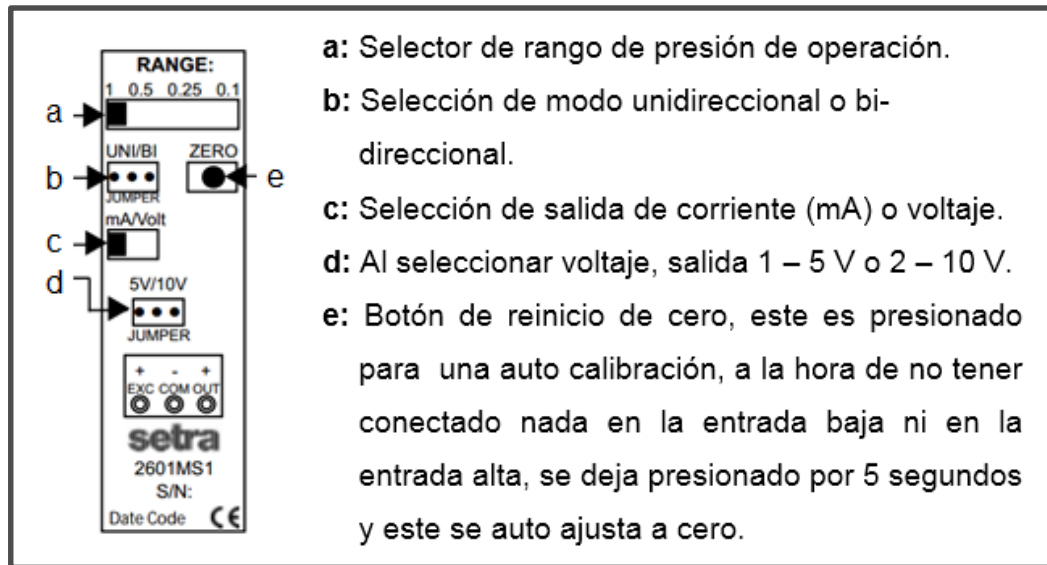
Figura 31. **Conexión a dos cables (salida corriente)**



Fuente: SETRA. Manual de operación e instalación del diferenciador de presión. *Installing guide* "Multi-Sense" Model 260 Series. p. 1.

Con esta conexión a dos cables, se obtiene la salida de corriente 4 - 20 mA.

Figura 32. Tarjeta electrónica del diferenciado de presión



Fuente: SETRA. Manual de operación e instalación del diferenciador de presión. *Installing guide* "Multi-Sense" Model 260 Series. p. 1.

En la imagen del dispositivo (figura 29), se puede ver una tarjeta donde es posible seleccionar varias opciones; como las que se presentan en las figuras.

4.8. Fuente de 24 VDC

La fuente de poder utilizada para energizar los sistemas de 24 V DC, es una LP1100D-24M de 100 W y 4,2 A. Tiene una entrada de voltaje de 90-132/180-264 V AC, dependiendo del rango que se seleccione (no es automático) y frecuencia de entrada de 47 - 63 Hz; tiene para montar en riel DIN.

Figura 33. Fuente de 24 V DC



Fuente: AC-DC switching power supply LP1100D-24M. Manual de la fuente de voltaje. p. 1.

4.9. Materiales para las cajas de control

Los materiales utilizados para la elaboración de las cajas de control, tenemos:

- Cajas metálicas de diferentes dimensiones
 - 0,3 x 0,25 x 0,15 m
 - 0,4 x 0,3 x 0,25 m
 - 0,6 x 0,4 x 0,25 m
- Riel DIN perforado
- Canaleta para tablero de 40^{-3} m x 40^{-3} m
- Remaches de $4,76^{-3}$ x $12,7^{-3}$ m ($3/16''$ x $1/2''$)
- Cinchos plásticos
- Bases adheribles para fijar cinchos plásticos
- Borneras grises para riel DIN de calibre 16 AWG
- Borneras amarillo/verde riel DIN de calibre 14 AWG para común

- Cable TFF rojo 14 AWG
- Cable TFF negro 14 AWG
- Cable TFF blanco 14 AWG
- Cable TFF verde 14 AWG
- Cable TFF rojo 18 AWG
- Cable TFF negro 18 AWG
- Cable TFF blanco 18 AWG
- Cable TFF azul 18 AWG
- Cinta de aislar
- Pulsadores N.O. y N.C. de 22⁻³ m color verde
- Luces de señal de 22⁻³ m azul, roja y verde de 120VAC
- Relés Slim de bobina de 24 V DC y 120VAC
- Relés cuadrados de doble acción de 8 terminales

4.10. Controlador del quemador Honeywell

Este controlador es el “cerebro” de todo el quemador; dicho controlador es un módulo de relé RM7890 Honeywell, que es controlador de quemadores basado en microprocesadores para su aplicación en sistemas de encendido automático de gas, *fuel-oil* o combinación de combustibles en un solo quemador.

Las funciones proporcionadas por este sistema, el RM7890 son:

- Secuenciamiento automático del quemador
- Supervisión de llama
- Indicación del estado del sistema
- Autodiagnóstico
- Identificación de problemas

Este controlador es el que monitorea al transformador de alto voltaje para crear la chispa, también las válvulas de gas y monitorea los switches de seguridad de las mismas; para este módulo de relé se necesita extra un pequeño módulo que va montado en el mismo quemador que es el amplificador de llama.

Sus especificaciones técnicas de operación son:

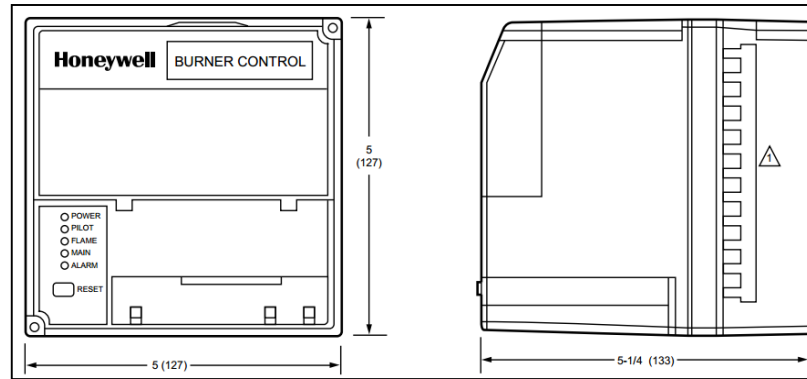
- Voltaje y frecuencia: 120 V CA, (+10 %, -15 %), 50/60 Hz. (± 10 %)
- Disipación de energía: 10 W máximo
- Máxima carga total soportada por el fusible: Máximo 20 A.

Rangos ambientales:

- Temperatura del ambiente:
 - De operación: 233,15 K a 333,15 K (-40 °C a +60 °C)
 - De almacén: 233,15 K a 339,15 K (-40 °C a +66 °C)
 - Humedad: 85 % de humedad relativa continua, sin condensación.
 - Vibración: 0.5 G ambiental.

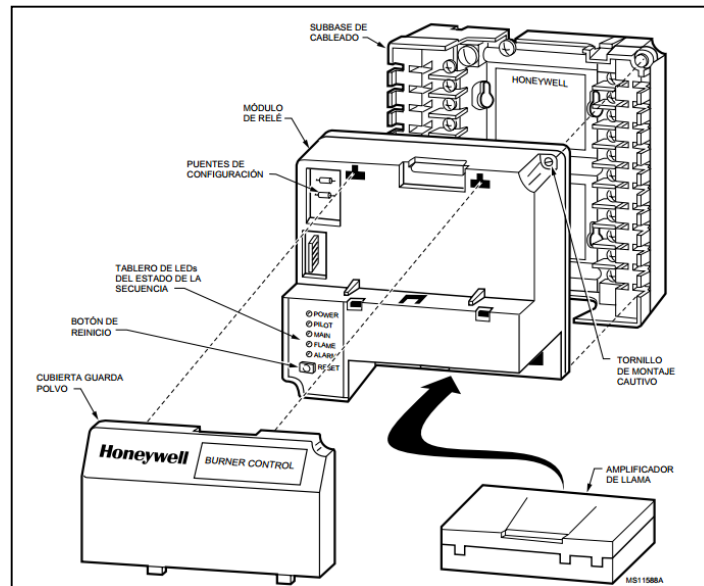
Las siguientes imágenes y diagramas a bloques fueron tomadas del manual “Módulos de relé, serie 7800 EC7890A, B; RM7890A,B,C”.

Figura 34. Dimensiones y forma física del controlador Honeywell



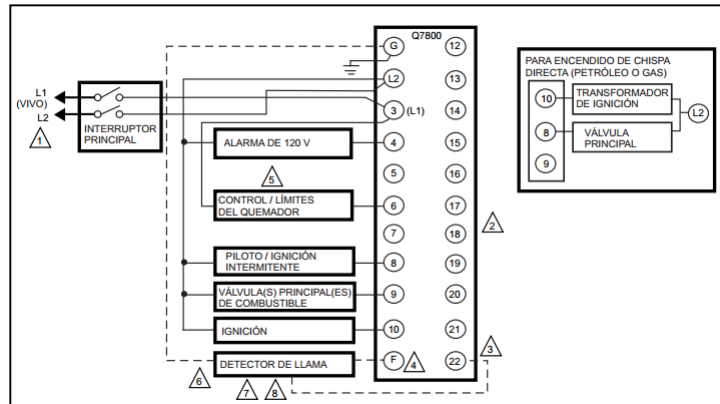
Fuente: Manual del controlador Honeywell RM7890, Módulos de relé serie 7800 EC7890A, B; RM7890 A,B,C. p. 5.

Figura 35. Vista de despiece del módulo de relé RM7890



Fuente: Manual del controlador Honeywell RM7890, Módulos de relé serie 7800 EC7890A, B; RM7890 A,B,C. p. 8.

Figura 36. Diagramas de conexión a bloques del controlador Honeywell



Fuente: Manual del controlador Honeywell RM7890, Módulos de relé serie 7800 EC7890A, B; RM7890 A,B,C. p. 4.

Su iniciación o teoría de operación acompañada de los indicadores ledes del panel frontal, es el siguiente:

Figura 37. Teoría de operación del controlador Honeywell

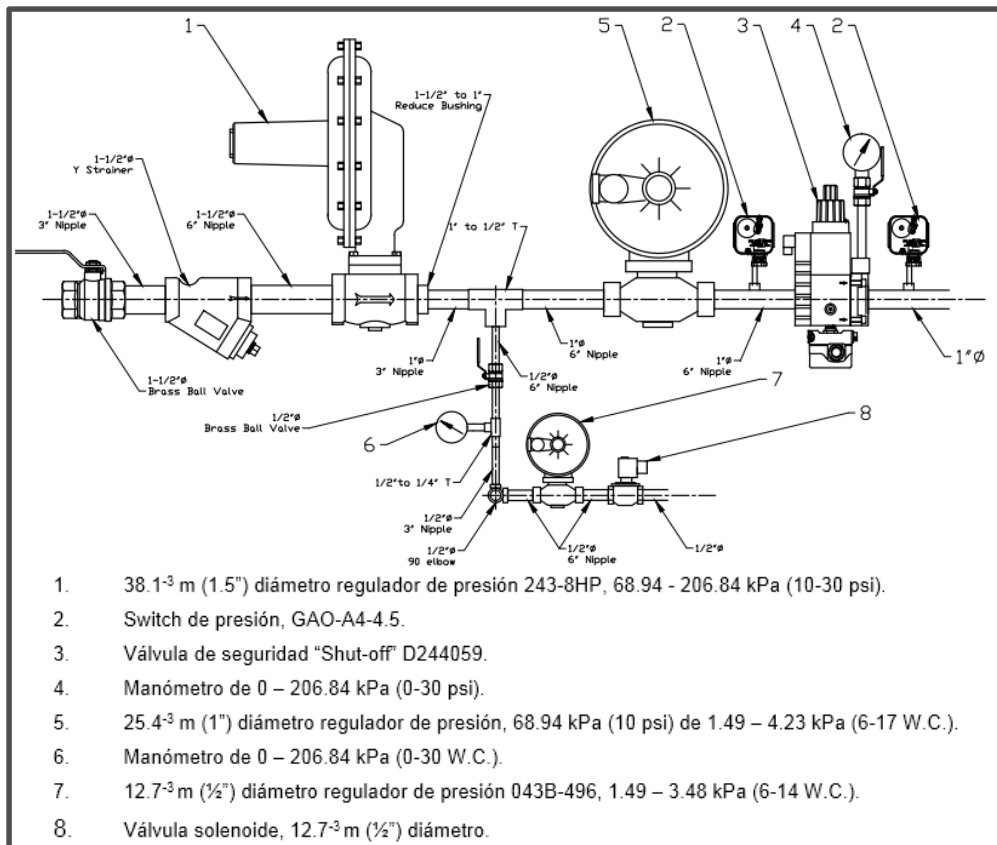
	00	00	9	4/10		
DESPLIEGUE DE LEDs	INICIACIÓN	ESPERA	ARRANQUE SEGURO	PELP 4 Ó 10 SEG.	OPERACIÓN	ESPERA
	● POWER ○ ○ ○	● POWER ○ ○ ○	● POWER ○ ○ ○	● POWER ● PILOT ● FLAME ○ MAIN ○ ALARM	● POWER ● PILOT ● FLAME ● MAIN ○ ALARM	● POWER ○ ○ ○
INICIO DEL QUEMADOR				IGNICIÓN (10)		
				PILOTO INTERMITENTE (8)		
					VÁLVULA PRINCIPAL (9)	(10)
CONTROL Y LÍMITES OPERACIONALES			LÍMITES Y CONTROL DEL QUEMADOR CERRADOS (3) A (6)			
SEÑAL DE LA LLAMA	REVISIÓN DE ARRANQUE SEGURO (RAS)			COMPROBACIÓN DE LA LLAMA		R A S

Fuente: Manual del controlador Honeywell RM7890, Módulos de relé serie 7800 EC7890A, B; RM7890 A,B,C. p. 4.

5. TREN DE GAS

El tren de gas es la instalación donde ingresa el gas propano, es regulado, controlado y donde sale hacia el quemador. En este capítulo se hará mención de los dispositivos y componentes utilizados en este sistema, en donde el esquema del sistema está con base en la siguiente figura:

Figura 38. Tren de gas utilizado



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Antes de que ingrese el gas propano al tren de gas, se tienen los siguientes componentes descritos en la imagen siguiente:

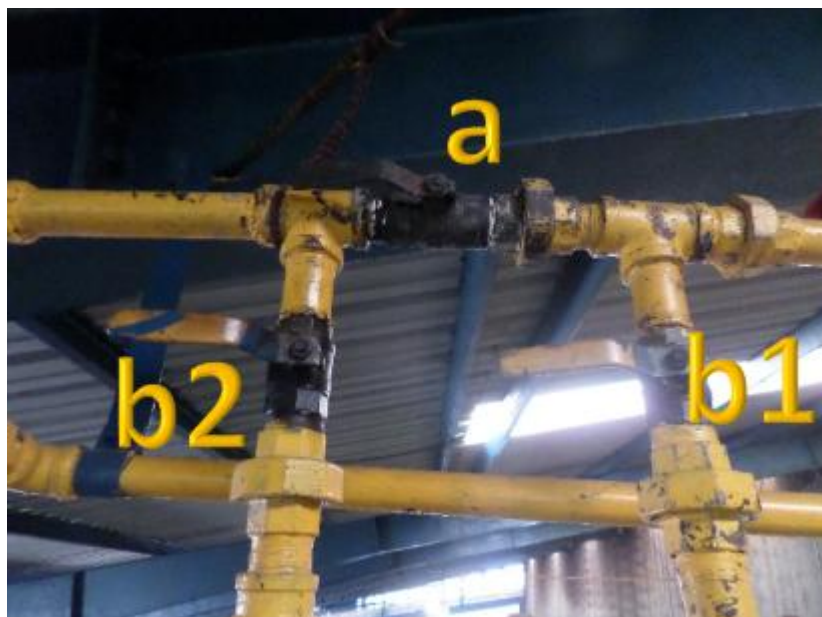
Figura 39. Tubería de gas propano antes del tren de gas



1. Tubería donde ingresa el gas desde la fuente principal.
2. Llave reguladora de presión: está antes de la llave principal que aparece en el esquema principal, esta dará una presión regulada entre 206.84 – 275.79 kPa (30 - 40 psi) aproximadamente; después de esta llave reguladora está instalada una opción de libre flujo hacia el tren de gas o hacia un totalizador antes del tren de gas; esto es por cuestión de cuantizar la cantidad de gas que se está utilizando.
3. Selección de dirección de flujo, este da dos opciones que son: directo al tren de gas o hacia el totalizador antes del tren de gas.
4. Totalizador de gas, este medirá la cantidad de gas que pasa a través del tren de gas.
5. Llave principal de distribución para el tren de gas.

Fuente: Línea de producción núm. 4, Manufacturas Vista al Mar S. A.

Figura 40. Dirección de flujo del gas propano



Fuente: Línea de producción núm. 4, Manufacturas Vista al Mar S. A.

Estas son las llaves donde se puede seleccionar, ya sea que el gas se dirija directamente a la entrada del sistema de control de gas o si se quiere que el gas pase antes por el totalizador.

En la imagen (figura 40), se tiene la llave “a” que está abierta y las llaves “b1” y “b2” que están cerradas; en este caso el gas va directamente a la entrada del sistema.

Si se cierra la llave “a” y se abren las llaves “b1” y “b2”, la dirección de flujo de gas será entrando por la llave “b1”, pasa por el totalizador, sale por la llave “b2” y luego va a la entrada del sistema de control.

Figura 41. **Tren de gas armado e instalado**



Fuente: Línea de producción núm. 4, Manufacturas Vista al Mar S. A.

Como se puede ver en la figura 41, el sistema de tren de gas ya montado, el primer dispositivo es una llave de paso que es de $38.1 \cdot 10^{-3}$ m (1 ½") de diámetro, es la que permitirá el paso del gas hacia el sistema, desde aquí, seguido del conector en "Y", hasta la entrada del primer regulador de presión, se tiene una tubería chapa 40 de $38.1 \cdot 10^{-3}$ m (1 ½") de diámetro. En la entrada y en la salida del regulador de presión núm. 1, se tiene un manómetro para monitorear la presión de entrada y presión de salida del regulador, en la salida de la tubería donde está conectado el manómetro que monitorea la presión de salida del regulador núm.

1, se tiene un conector reductor de tubería que es de 38,1⁻³ m (1 ½") de diámetro y la reduce a tubería de 25,4⁻³ m (1") de diámetro.

Después de aquí se le denominará a la sección 2 del tren de gas, va un pequeño tramo de tubería de 25,4⁻³ m (1") de diámetro; esta va conectada a una "T", que en su entrada y salida directa tiene conexión para tubería de 25,4⁻³ m (1") de diámetro y en su salida inferior, tiene salida para una tubería de 12,7⁻³ m (½") de diámetro.

Continuando con la línea directa de la tubería de 25,4⁻³ m (1"), después de la salida directa de la "T", va conectado el regulador núm. 2, seguido del regulador, se tiene otro manómetro con el cual se monitorea la salida del mismo; después de esto, se puede denominar esta parte del tren de gas como la sección de seguridad, ya que van conectados en serie el switch de alta presión y el de baja presión. Al final está conectado un modulador marca Belimo, que es el mismo con el que se controlan las compuertas dámper; este es controlado por el controlador de temperatura que le indica qué tanto abrir y cerrar la llave final del gas que va hacia la turbina para calentar el aire generado por el soplador.

5.1. Reguladores de presión

Los reguladores de presión, como su nombre lo indica, son los encargados de controlar la presión de un fluido a presiones que se desee; en este caso se tienen tres reguladores de presión que tienen las siguientes descripciones:

5.1.1. Regulador de presión núm. 1

Modelo: 243 - 8HP:

- Máxima presión de entrada: 861,84 kPa (125 psi).
- Presiones de salida: 20,68 a 68,94 kPa (3 a 10 psi).
- Tamaños de tuberías disponibles: 31,75⁻³ m (1¼"), 38,1⁻³ m (1½") y 50,8⁻³ m (2").
- Tamaño utilizado para la tubería: 38,1⁻³ m (1½").
- Límites de temperatura: 244,25 – 338,65 K (-28,9 °C a 65,5 °C).

5.1.2. Regulador de presión núm. 2

Modelo: 143 – 80:

- Máxima presión de entrada: 68,94 kPa (10 psi).
- Presiones de salida: 1,49 – 3,48 kPa (6" – 14" W.C.)
- Tamaños de tuberías disponibles: 15,87⁻³ m (5/8"), 12,7⁻³ m (½"), 9,52⁻³ m (3/8"), 7,93⁻³ m (5/16"), 6,35⁻³ m (¼"), 4,76⁻³ m (3/16") y 3,17⁻³ m (1/8").
- Tamaño utilizado para la tubería: 25,4⁻³ m (1").
- Límites de temperatura: 244,25 – 338,65 K (-28,9 °C a 65,5 °C).

5.1.3. Regulador de presión núm. 3

Modelo: 043 – 496:

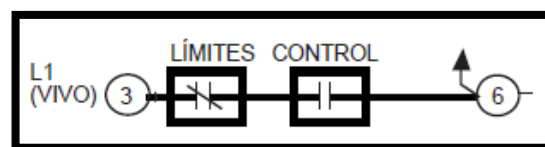
- Máxima presión de entrada: 68,94 kPa (10 psi).
- Presiones de salida: 1,49 – 3,48 kPa (6" – 14" W.C.).
- Tamaños de las tuberías disponibles: 12,7⁻³ m (½"), 9,52⁻³ m (3/8"), 7,93⁻³ m (5/16"), 6,35⁻³ m (¼"), 4,76⁻³ m (3/16") y 3,17⁻³ m (1/8").
- Tamaño utilizado para la tubería: 12,7⁻³ m (½").
- Límites de temperatura: 244,25 – 338,65 K (-28,9 °C a 65,5 °C).

5.2. Switch de presión alta y baja

Este tipo de *switch* es más que todo para una protección al sistema, se tiene uno de alta presión y otro de baja presión, además de ser una protección para el sistema, sirve también para optimizar costos; con esto se puede verificar que no se utilice más gas del se necesite ni menos del que exija el sistema. La conexión de estos dispositivos de seguridad es en serie, y estos van a la terminal número 6 del controlador del quemador, el dispositivo ya mencionado marca Honeywell RM7890.

El *switch* de alta presión es el contacto normalmente cerrado y el de presión baja es el normalmente abierto; esto es porque siempre se tiene que tener más presión del mínimo que se ajuste en el dispositivo y no más de la máxima. Así que la presión está por debajo del límite inferior; el contacto normalmente abierto se abre, porque si está sobre el límite inferior, va a estar cerrado el contacto, de la manera contraria es con el *switch* de alta presión; la presión del sistema no puede estar sobre el valor máximo y este contacto está normalmente cerrado, esto es para que el circuito de seguridad esté cerrado y al momento de que la presión supere el límite máximo, dicho contacto pasa de estar normalmente cerrado a abierto y así interrumpe el circuito de seguridad.

Figura 42. **Conexión de los *switchs* de seguridad**



Fuente: *Manual del controlador Honeywell RM7890. Módulos de relé serie 7800 EC7890A,B; RM7890A,B,C. p. 3.*

Los dispositivos de seguridad utilizados son de marca *Antenus Controls*, haciendo referencia al manual de los dispositivos, se tienen de diferentes rangos que son:

Tabla IV. **Rangos disponibles de los límites de presión**

High Gas Pressure		Low Gas Pressure	
W.C.	mm	W..C.	mm
2 - 16" W.C.	50-400	1-6" W.C.	25-150
5 - 28" W.C.	125-700	1-35" W.C.	25-875
10 - 50" W.C.	250-1250	2-14" W.C.	50-350
		6-24" W.C.	150-600
		10-50" W.C.	250-1250

Fuente: *Manual de switches de presión. Marca Antenus Controls, Model-A Series Gas Pressure Switches. p. 2.*

Las dos opciones disponibles que tiene esta marca son:

- *Switch* alto y bajo en el mismo dispositivo, modelo RHLGP-A.
- *Switch* de presión por individual, ya sea solo alta presión (modelo HGP-A) o solo baja presión (LGP-A).

5.2.1. **Switch de presión alta**

El *switch* de presión alta es del modelo por individual, según el modelo HGP-A M1 y la tabla IV, el *switch* de presión alta utilizado está entre el rango de 10 – 50 W.C. y de 250 – 1,250 mm que equivale en el Sistema Internacional a 2,49 – 12,45 kPa y de 0,25 – 1,25 m y este equivale al circuito normalmente cerrado del diagrama de conexión en la sección de “límites de control”.

Figura 43. **Switch de alta presión utilizado**



Fuente: Línea de producción Núm. 4, Manufacturas Vista al Mar S. A.

5.2.2. **Switch de presión baja**

El *switch* de presión baja también es del modelo por individual, según el modelo LGP-A M1 y la tabla IV, el *switch* de presión baja utilizado está entre el rango de 2 – 14 W.C. y de 50 – 350 mm, que equivale en el Sistema Internacional a 0,49 – 3,48 kPa y de 0,05 – 0,35 m y este equivale al circuito normalmente abierto del diagrama de conexión en la sección de “límites de control”.

Figura 44. **Switch de baja presión utilizado**



Fuente: Línea de producción Núm. 4, Manufacturas Vista al Mar S. A.

5.3. Válvula Dungs

Es una válvula multibloque que va de la mano con los *switches* de alta y baja presión; esto es para seguridad y a la vez, se aprovecha para optimizar costos.

Es por seguridad, ya que es una válvula *shut-off*, esto quiere decir que corta el paso del gas en caso de falla; es ideal para aplicaciones en quemadores industriales y comerciales; estas son diseñadas para trabajar con gas natural, propano, butano, aire y otros gases. Se menciona también optimizar costos porque con los *switches* de presión se ajustan para no gastar más de lo que se necesita y si hay menos, es porque hay algún problema.

Figura 45. **Válvula Dungs, SV/614 Series**



Fuente: *Hoja técnica de la válvula Dungs, SV/614 Series.* p. 1.

6. CONEXIONES ELÉCTRICAS

En este capítulo se detallan las conexiones eléctricas que hay en el horno. En el horno se tienen los siguientes sistemas que tienen su conexión eléctrica y sistema independiente:

- Control del quemador Honeywell
- Diferenciador de presión
- Conexión de los dispositivos Belimo y su línea de alimentación
- Conexión del variador de frecuencia con el soplador

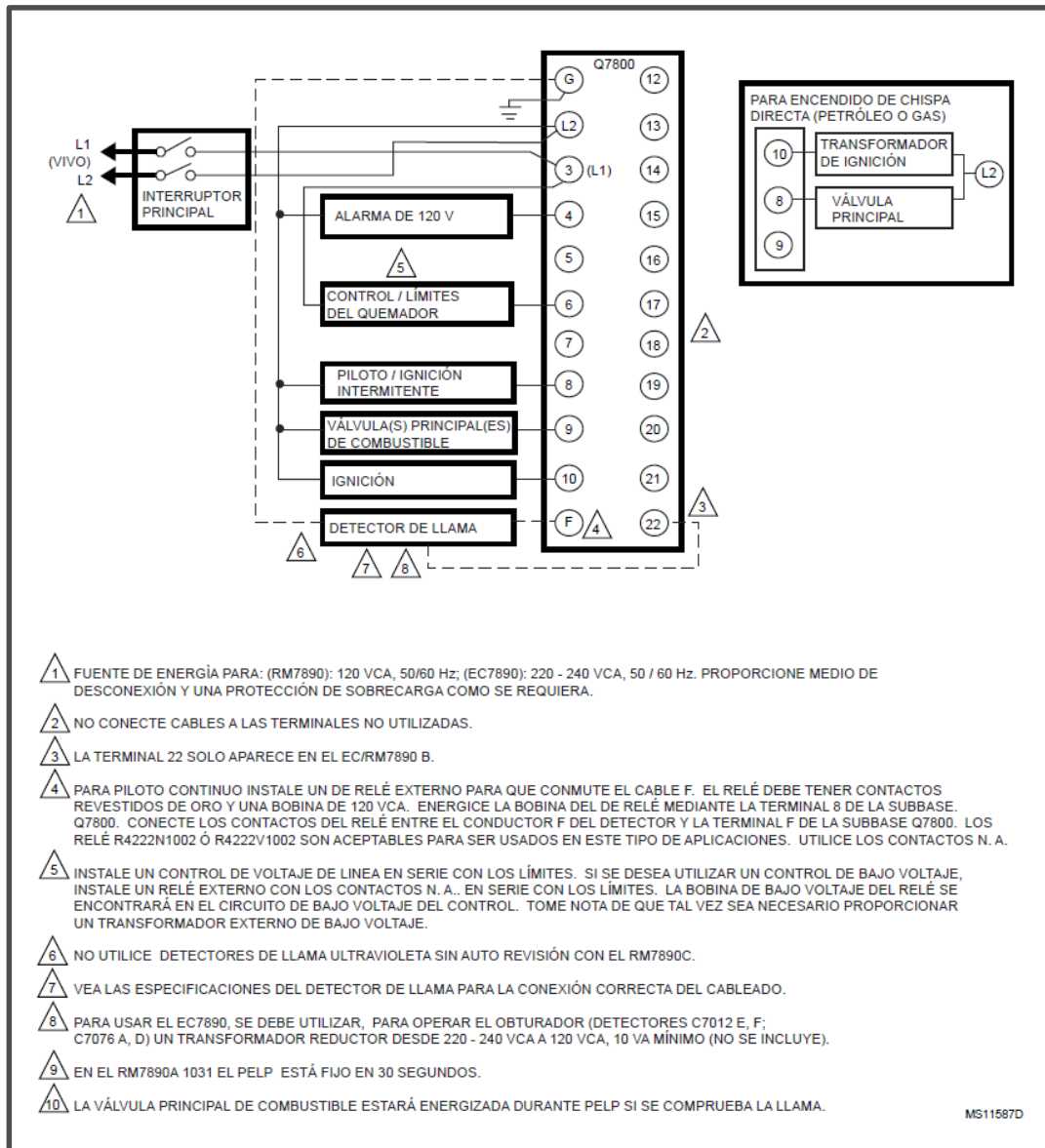
6.1. Diagramas eléctricos

Los diagramas eléctricos del horno están separados por sistemas, y entre los sistemas independientes hay unos que están separados en diferentes diagramas o bloques.

6.1.1. Conexión del sistema del quemador

Las conexiones del sistema del quemador están separadas por bloques; el primer bloque y es el que se presenta a continuación, es el sistema basado en el bloque de terminales del controlador Honeywell, que detalla los números de terminales y conexiones por bloques; asimismo presenta detalles a considerar sobre el quemador y conexiones.

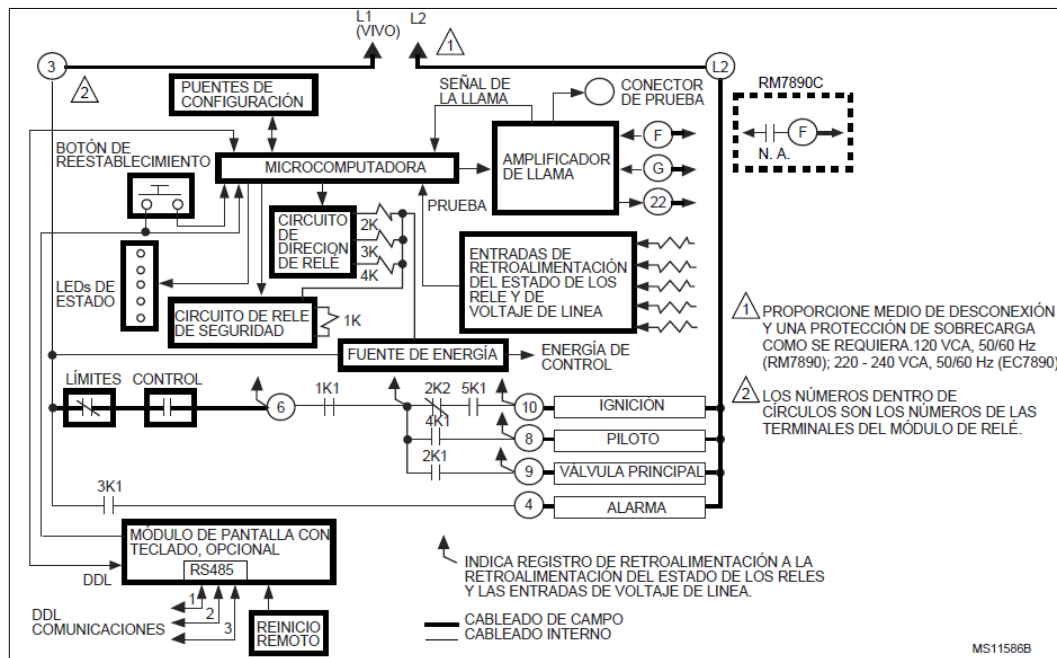
Figura 46. Diagramas de conexión a bloques del controlador Honeywell y características de conexiones



Fuente: Manual del controlador Honeywell RM7890. Módulos de relé serie 7800 EC7890A,B; RM7890A,B,C. p. 4.

En este bloque ya se tiene el detalle de las conexiones del sistema del quemador; las ruedas con números o letras son la descripción de la conexión de la base del quemador.

Figura 47. Diagrama eléctrico a bloques del controlador Honeywell



Fuente: Manual del controlador Honeywell RM7890. Módulos de relé serie 7800 EC7890A, B; RM7890A,B,C. p. 3.

6.1.2. Diferenciador de presión

Con la conexión del diferenciador de presión se utilizó la configuración con salida de 4 – 20 mA; esto se consideró porque el tramo de la señal era menor de 10 m; el detalle técnico de la señal de 4 – 20 mA se dará más adelante.

Dependiendo de la presión o flujo de aire dentro de la recámara del horno, va a ser la velocidad del soplador y esta va a ser controlada por el variador de frecuencia de 7,46 kW que controlará el motor del soplador. Mientras menos flujo hay, la velocidad va a incrementar y cuando hay más flujo, la velocidad disminuirá; esto va a variar en función de un valor central establecido, según las pruebas del capítulo 7.

El variador de frecuencia varía la señal de salida que va hacia el motor del soplador, con una señal análoga de 2 – 10 VDC; por esto es que se colocó la resistencia de 500 ohms en la conexión de entrada del variador; utilizando la ley de Ohm se tiene:

$$V = I \times R$$

$$V = \text{voltaje}$$

$$I = \text{corriente}$$

$$R = \text{resistencia}$$

Para el caso de la corriente mínima, se tiene:

$$V = (0,004 \text{ mA}) \times (500 \text{ ohms})$$

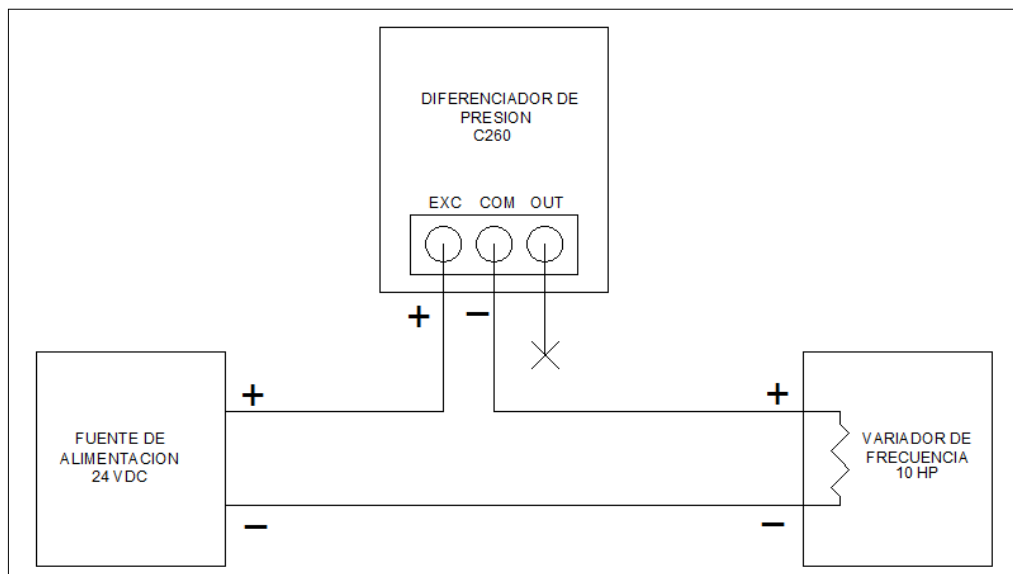
$$V = 2 \text{ VDC}$$

Para el caso de la corriente máxima, se tiene:

$$V = (0,020 \text{ mA}) \times (500 \text{ ohms})$$

$$V = 10 \text{ VDC}$$

Figura 48. **Conexión del diferenciador de presión salida corriente 4 – 20 mA con el variador de frecuencia**



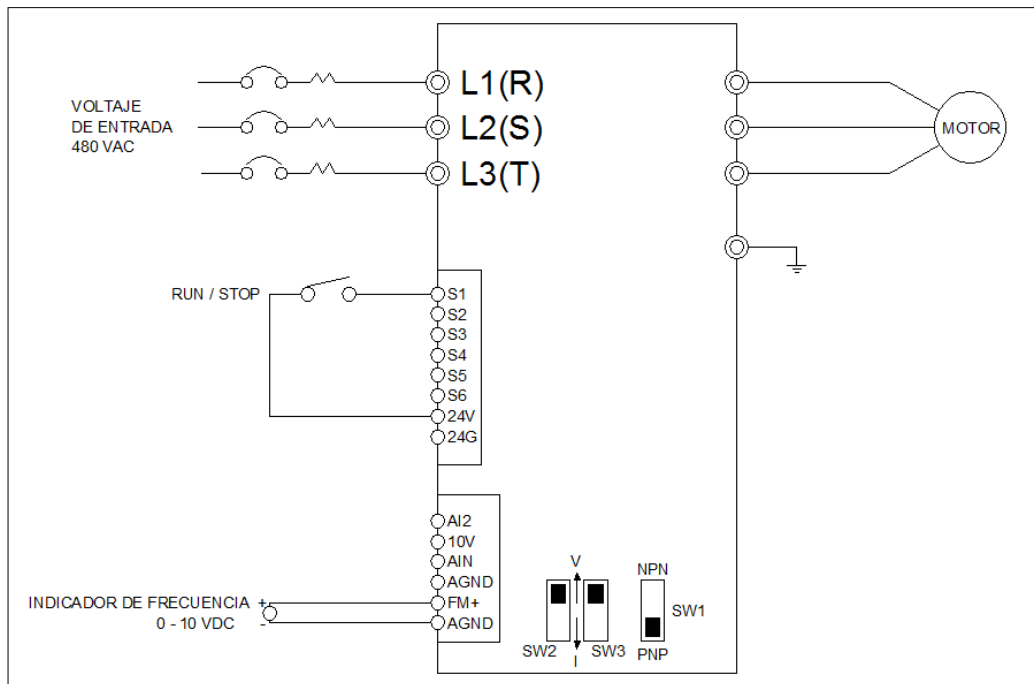
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

6.1.3. Variador de frecuencia

Las conexiones del variador de frecuencia están basadas en su funcionamiento más básico, que es controlar el motor del soplador pero controlado por medio del diferenciador de presión mencionado anteriormente, creando entre estos sistemas un sistema PID, que se explicará a detalle más adelante en los detalles técnicos.

El variador de frecuencia tiene su entrada de alimentación trifásica, sus entradas remotas digitales, su señal analógica de entrada para el control PID dada por el diferenciador de presión y su salida para accionar el motor de 7,46 kW.

Figura 49. **Diagrama de conexión del variador de frecuencia**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

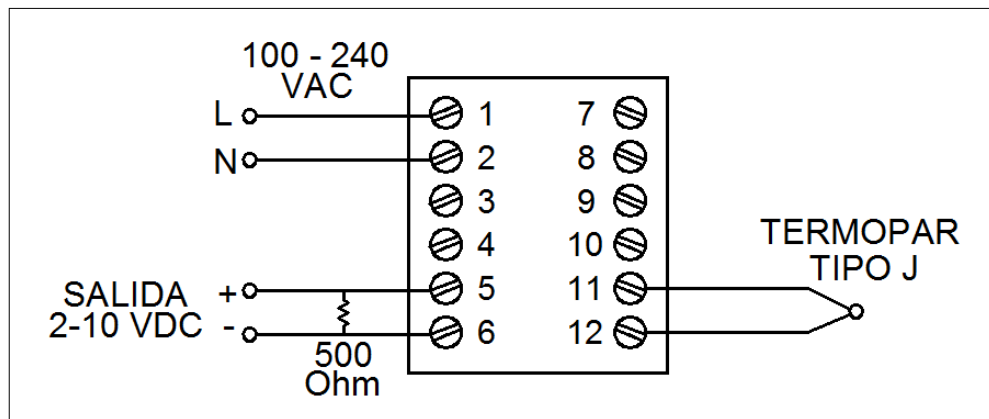
6.1.4. **Controlador de temperatura PID**

La conexión eléctrica para el controlador de temperatura está íntimamente ligada a la conexión eléctrica del controlador de dámpers Belimo, ya que este es el encargado de mandar la señal de corriente de 4 – 20 mA, pero el controlador tiene una entrada de 2 – 10 VDC, entonces para cambiar esta señal de corriente a voltaje se le coloca una resistencia de 500 ohms para que el controlador Belimo abra o cierre la compuerta dâmpers.

El controlador de temperatura PID, es el que interpreta la señal que proviene del termopar, que es el transductor de temperatura; esta señal llega en

mili voltios, el controlador de temperatura la interpreta y manda la señal de corriente hacia el controlador Belimo.

Figura 50. **Conexión del controlador de temperatura PID**

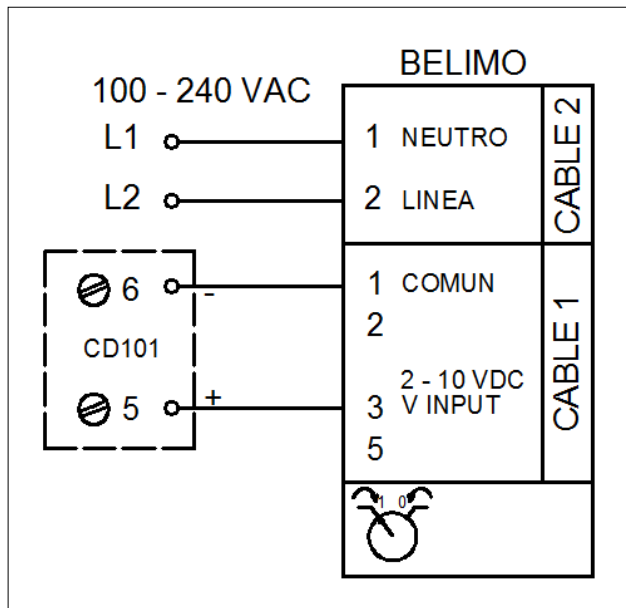


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

6.1.5. **Controlador de dampers, Belimo**

La conexi3n elétrica del controlador Belimo, es la misma utilizada para todos los controladores instalados en el horno. La alimentaci3n es de 120 V AC, tiene una entrada anal3gica de 4 – 20 mA; esta es la que indica el movimiento que debe realizar, si tiene cerca de los 4 mA o una disminuci3n de corriente, este va a girar en direcci3n contraria a las agujas de reloj para cerrar el dámper y cuando tiene un aumento de corriente o está cerca de los 20 mA, este va a girar en la direcci3n de las agujas de reloj para abrir completamente el dámper.

Figura 51. **Conexión eléctrica del controlador Belimo con el controlador de temperatura PID**

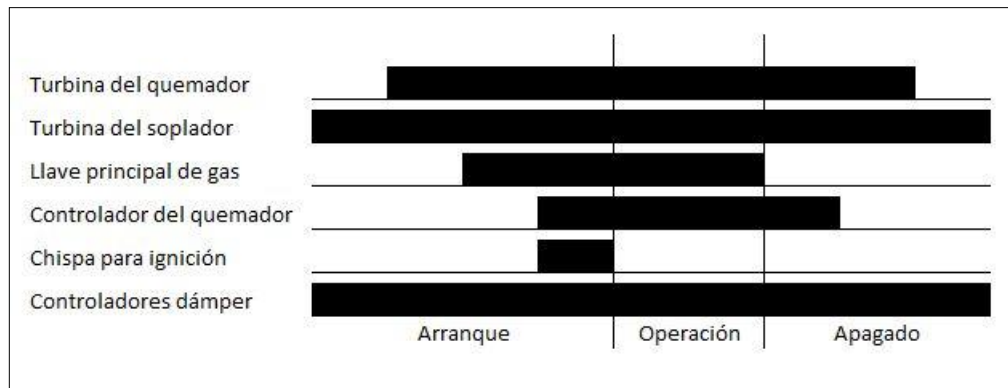


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

6.2. Teoría de operación

Se entiende como teoría de operación a la descripción teórica del funcionamiento completo del sistema, desde antes de que este se ponga en marcha hasta que termina su ciclo.

Figura 52. Teoría de operación del horno



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

La teoría de operación, según la gráfica de secuencia mostrada anteriormente, está dividida en tres partes, la operación para el arranque es la siguiente:

- Se enciende el motor de la turbina principal en el mando principal del variador de frecuencia que controla el movimiento de la turbina del soplador; este tiene una rampa de encendido suave de 60 segundos; después de encender esta turbina se procede a la estación del quemador, donde está el tren de gas y el controlador principal del quemador.
- Luego de haber encendido la turbina del soplador se enciende la turbina del quemador; se hizo una pequeña abertura cerca del quemador que funciona para detectar si ya hay circulación de aire dentro del mismo, y sobre este agujero se instaló una pequeña lámina de aluminio que indica si ya hay circulación dentro del quemador o si está pegada a la pared del sistema; si esta lámina está despegada, es que todavía no hay circulación de aire; esto se hizo con el fin de evitar un incendio en esta parte, ya que

si no hay circulación de aire, el fuego creado por la ignición no se dispersaría y podría crear un incendio.

- Los dámpers están totalmente independientes del sistema de soplado e ignición, ya que a la hora de poner el *breaker* en ON, empiezan a funcionar todos los dámpers de forma autónoma; esto quiere decir que no importa si el soplador está encendido o el quemador; los dámpers están haciendo su función, si no detectan mucha temperatura se van a empezar a abrir hasta alcanzar su totalidad. Conforme vaya alcanzando temperatura la recámara del horno, estos se van a ir cerrando, y conforme vayan pasando los guantes a través de la recámara; estos guantes van a ir absorbiendo temperatura y la temperatura de la recámara va a descender, aquí es donde los dámpers empezarán a modular tratando de mantener una temperatura constante según se establezca en cada estación.
- Justo antes de poner en marcha el sistema del quemador se abre la llave de gas, para permitir el flujo del mismo y este va en forma de gas. Esta presión será controlada por el sistema de gas a modo de tener una tubería para la llama piloto y otra que será la tubería del gas a quemar para darle la temperatura al horno.
- En el instante que se abre la llave de gas empieza a ser regulado a través de la tubería, reguladores de presión y controlado en la salida de la tubería por un controlador Belimo, el que va a ser el encargado de modular la salida de gas según la demanda de temperatura de la recámara de gas. En el momento de encender el controlador del sistema del quemador, este hace una inspección inmediata de sus componentes externos, los *switches* de alta y baja presión, la válvula del gas y de ser correcto esto, procede a generar la chispa para la ignición y esto lo logra con el transformador de

alto voltaje; una vez generado esto, procede al monitoreo de la llama, de haber un fallo en el sistema, enciende la alarma de seguridad.

Operación:

En esta fase todos los sistemas están encendidos y trabajando con normalidad, de algún fallo en alguno de los sistemas, el controlador enciende la alarma de alerta e interrumpe la ignición.

Apagado: para la secuencia de apagado, se tienen los siguientes pasos:

- Como primer paso, cerrar la llave de gas, esto es lo más importante en la secuencia de apagado para evitar cualquier accidente.
- Detener el funcionamiento del controlador del quemador: esto está independiente de la turbina del quemador; este paso es antes, para que la turbina todavía quede circulando aire en caso de que quede un poco de gas acumulado.
- Después de un minuto aproximadamente, se apaga la turbina del quemador, ya que haya circulado el aire y si había gas acumulado lo haya mandado a la turbina del soplador.
- En el mando principal del soplador, se selecciona la posición de apagado, y el variador empezará a disminuir su frecuencia de salida a modo que el motor de la turbina de soplado vaya frenando muy lentamente; la rampa de frenado que tiene programada tarda aproximadamente 3 minutos en detener por completo el motor.

- Los controladores dámper, no es necesario que se apaguen, ya que estos automáticamente abrirán o cerrarán su compuerta y quedan listos para su operación, al menos que se quiera apagar por completo la máquina, tienen su *breaker* individual y desde ahí se apagan todos los dámper.

6.3. Detalle técnicos

Los detalles técnicos a considerar más importantes en la integración y aplicación de la instrumentación, son los siguientes:

- Ley de Ohm
- Señal análoga 4 – 20 mA
- Cable de termopar
- Cables de alimentación y conexión
- PID

6.3.1. Ley de Ohm

La Ley de Ohm es la base a la hora de trabajar voltaje, corriente y resistencia. Esta ley fue postulada por el físico y matemático alemán Georg Simon Ohm y establece que la diferencia de potencial (voltaje) que aparece entre los extremos de un conductor eléctrico, es proporcional a la intensidad de la corriente que circula por dicho conductor. Ohm completó esta ley introduciendo la noción de resistencia eléctrica, que es el factor de proporcionalidad que aparece en la relación entre voltaje y corriente.

$$V = I \times R$$

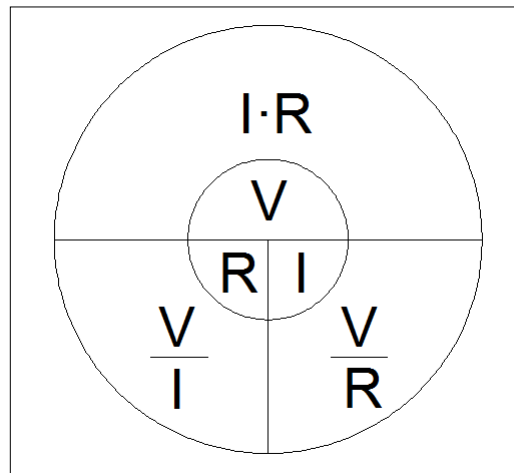
Tabla V. **Abreviatura, significado y unidad de medida de la ley de Ohm**

Abreviatura	Significado	Unidad
V	Voltaje	Volts (V)
I	Corriente	Amperios (A)
R	Resistencia	Ohms (Ω)

Fuente: elaboración propia.

Con el diagrama de la ley de Ohm se puede identificar fácilmente la relación entre estas tres magnitudes físicas, tomando en el círculo del interior la variable que se quiere conocer y las operaciones del círculo exterior como las variables que se conocen.

Figura 53. **Diagrama circular de operaciones en la ley de Ohm**



Fuente: elaboración propia.

6.3.2. Señal analógica 4 – 20 mA

Esta señal analógica de corriente, de 4 – 20 mA, es muy utilizada en el campo de la industria y la automatización, ya que presenta ventajas sobre algunos aspectos que son:

- Menor inmune al ruido que una señal de voltaje.
- Menor pérdida de señal en tramos largos y por variaciones térmicas.
- Es posible detectar un cable roto o falta de conexión gracias a que no es 0 mA; si no se tiene la señal mínima de 4 mA, rápido se puede asumir que no hay conexión o algún factor en relación con la desconexión.
- Señal relativamente pequeña que no hay riesgo de un toque eléctrico, chispa, alta tensión y es señal polarizada.
- Diferenciador de presión.

Una pregunta que muchos se hacen es: ¿Por qué es específicamente “4 a 20 mA”?, esto se debe a varios factores:

- El anteriormente explicado, que tiene la señal mínima de 4 mA por si en algún caso el sistema está en funcionamiento y no tiene esta señal mínima, quiere decir que hay un problema de falta de señal y esto puede ser que no haya conexión, falla en el sistema, entre otros.
- También está el factor de instrumentación, ya que desde hace bastante tiempo se viene trabajando con señales de voltaje de 0 a 10 V DC o 2 a 10 V DC, el caso de 2 a 10 V DC; es el análogo para detectar si un sistema no tiene conexión o falta de señal. La señal análoga de corriente viene ligada a la ley de Ohm, aprovechando la inmunidad al ruido, se puede mandar esta señal por largos tramos o incluso por lugares en donde hay

calor, y a la hora de conectar en el sistema, si este solo tiene entrada de voltaje, no es ningún problema, ya que de acuerdo con la ley de Ohm, solo se conecta una resistencia de 500 ohms en paralelo y ya se tiene la señal de corriente de 4 – 20 mA en una señal de voltaje de 2 – 10 V DC. Detalle que fue utilizado en el horno en el sistema del variador de frecuencia del soplador.

6.3.3. Cable de termopar

El cable utilizado para las extensiones de conexión de los termopares, tiene que ser especial y específico para este propósito, ya que alteraría la lectura leída en el sensor de temperatura, debido a que la señal que entrega el termopar es en mili voltios.

El cable utilizado es un cable especial para termopar tipo J; este tiene que ser del mismo material de fabricación que el termopar y conectado al mismo cable que corresponde en este. El termopar, dependiendo de la diferencia de temperatura que existe entre sus puntas, crea una señal muy pequeña en mili voltios porque los cables son de distinto material y si se conecta una extensión de cable que no corresponde con el mismo material que el del conductor, es decir, que en la conexión los cables estén invertidos, alterará la señal y por consecuencia el valor leído por el sensor de temperatura no será verídico.

6.3.4. Cables de alimentación y conexión

Para los cables de alimentación principal y conexiones internas en las cajas de control, se tuvieron en cuenta varios aspectos como:

- Corriente máxima a transportar (calibre del cable)

- Voltaje máximo (está el máximo en la etiqueta)
- Aislamiento del cable
- Temperatura del ambiente

Para determinar la corriente máxima que iba a transportar, se determinó con base en las fichas técnicas de la instrumentación; se utilizaron los tramos de distribución siguientes:

Tabla VI. **Tabla de consumos de corriente de los dispositivos electrónicos**

TRAMO	EQUIPO	CONSUMO (A)	TOTAL (A)	CABLE (AWG)
Dámpers y controladores de temperatura PID	BELIMO (x27)	0,025	0,675	18
	CD101 (x27)	0,070	1,89	
Variador turbina	VFD 7.46kW	16,0	16,0	14
Controlador HONEYWELL	Honeywell	1,3	1,3	18
Diferenciador de presión	Fuente 24VDC	0,5	0,5	18

Fuente: elaboración propia.

Todos los consumos son de 110 VAC monofásico, la temperatura promedio es de 301,15 a 309,15 K (28 a 36 °C) del ambiente en donde operarán estos equipos y un aislamiento adecuado es el de los cables TFF, que trabajan sin ningún problema a un máximo de 363,15 K (90 °C).

6.3.5. PID

Un controlador PID es un mecanismo de control por realimentación ampliamente usado en sistemas de control industrial. Este calcula la desviación o error entre un valor medido y un valor deseado.

El algoritmo del control PID consiste de tres parámetros distintos:

- El proporcional, depende del error actual
- El integral, depende de los errores pasados
- El derivativo, es una predicción de los errores futuros

La suma de estas tres acciones es usada para ajustar al proceso por medio de un elemento de control como la posición de una bomba de control o el control de una resistencia para mantener cierta temperatura; caso similar es el que se va a utilizar en este proceso y el manejo de temperatura para el horno.

Cuando no se tiene conocimiento del proceso, históricamente se ha considerado que el controlador PID es el más adecuado. Ajustando estas tres variables en el algoritmo de control del PID, el controlador puede proveer una acción de control diseñado para los requerimientos del proceso en específico. La respuesta del controlador puede describirse en términos de la respuesta del control ante un error, el grado al cual el controlador sobrepasa el punto de ajuste, y el grado de oscilación del sistema. Nótese que el uso del PID para control no garantiza control óptimo del sistema o la estabilidad del mismo.

Algunas aplicaciones pueden solo requerir de uno o dos modos de los que provee este sistema de control. Un controlador PID puede ser llamado también PI, PD, P o I en la ausencia de las acciones de control respectivas.

Los controladores PI son particularmente comunes, ya que la acción derivativa es muy sensible al ruido, y la ausencia del proceso integral puede evitar que se alcance al valor deseado debido a la acción de control.

Para el correcto funcionamiento de un controlador PID que regule un proceso o sistema se necesita, al menos:

- Un sensor, que determine el estado del sistema, en nuestro caso será el termopar tipo J.
- Un controlador, que genere la señal que gobierna al actuador, en este caso será el controlador CD101 que va a tener la salida de 4 – 20 mA.
- Un actuador, que modifique al sistema de manera controlada, que el encargado de esto será el Belimo, el que modifique el ángulo del dámper para abrirlo o cerrarlo y así tener más o menos temperatura dentro de la recámara de secado.

El sensor proporciona una señal analógica o digital al controlador, la cual representa el punto actual en el que se encuentra el proceso o sistema. La señal puede representar ese valor en tensión eléctrica, intensidad de corriente eléctrica o frecuencia. En este último caso la señal es de corriente alterna, a diferencia de los dos anteriores, que también pueden ser con corriente continua.

El controlador lee una señal externa que representa el valor que se desea alcanzar. Esta señal recibe el nombre de punto de consigna (o punto de referencia o en inglés *Set Point*), la cual es de la misma naturaleza y tiene el mismo rango de valores que la señal que proporciona el sensor. Para hacer posible esta compatibilidad y que, a su vez, la señal pueda ser entendida por un humano, habrá que establecer algún tipo de interfaz (*HMI-Human Machine Interface*), son pantallas de gran valor visual y fácil manejo que se usan para hacer más intuitivo el control de un proceso; en el presente caso, el controlador de temperatura PID CD101, tiene dos *displays* para mostrar el valor actual de la temperatura y el punto de consigna.

El controlador resta la señal de punto actual a la señal de punto de consigna, obteniendo así la señal de error, que determina en cada instante la diferencia que hay entre el valor deseado (consigna) y el valor medido. La señal de error es utilizada por cada uno de los 3 componentes del controlador PID. Las 3 señales sumadas componen la señal de salida que el controlador va a utilizar para gobernar al actuador. La señal resultante de la suma de estas tres se llama variable manipulada y no se aplica directamente sobre el actuador, sino que debe ser transformada para ser compatible con el actuador utilizado.

Las tres componentes de un controlador PID son: parte proporcional, acción integral y acción derivativa. El peso de la influencia que cada una de estas partes tiene en la suma final, viene dado por la constante proporcional, el tiempo integral y el tiempo derivativo, respectivamente. Se pretenderá lograr que el bucle de control corrija eficazmente y en el mínimo tiempo posible los efectos de las perturbaciones.

P: constante de proporcionalidad: se puede ajustar como el valor de la ganancia del controlador o el porcentaje de banda proporcional. Ejemplo: cambia la posición del dámper proporcionalmente a la desviación de la variable respecto al punto de consigna. La señal P mueve el dámper siguiendo fielmente los cambios de temperatura multiplicados por la ganancia.

I: constante de integración: indica la velocidad con la que se repite la acción proporcional.

D: constante de derivación: hace presente la respuesta de la acción proporcional duplicándola, sin esperar a que el error se duplique. El valor indicado por la constante de derivación es el lapso de tiempo durante el cual se manifestará la acción proporcional correspondiente a dos veces el error y

después desaparecerá, en pocas palabras, es la constante encargada a la respuesta de cambios rápidos o bruscos en el sistema, en nuestro caso está constante es cero.

Tanto la acción integral como la acción derivativa, afectan a la ganancia dinámica del proceso. La acción integral sirve para reducir el error estacionario, que existiría siempre si la constante K_i fuera nula. Ejemplo: corrige la posición del dámper proporcionalmente a la velocidad de cambio de la variable controlada. La señal d es la pendiente (tangente) por la curva descrita por la variable.

La salida de estos tres términos, el proporcional, el integral, y el derivativo son sumados para calcular la salida del controlador PID. Definiendo $y(t)$ como la salida del controlador, la formula final del algoritmo del PID es:

$$y(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de}{dt}$$

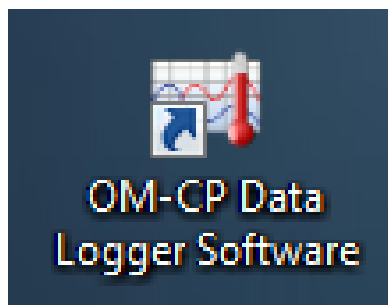
7. PRUEBAS Y RESULTADOS

Para el análisis y la discusión de resultados se utilizó un software y hardware especial para poder medir las temperaturas dentro del horno en lugares específicos.

El hardware utilizado es un medidor de temperatura, capaz de medir en 8 puntos y almacenar la temperatura con distintos intervalos de tiempo; esto se programa a la hora de arrancar el medidor, utiliza termopares tipo J como sensores de temperatura.

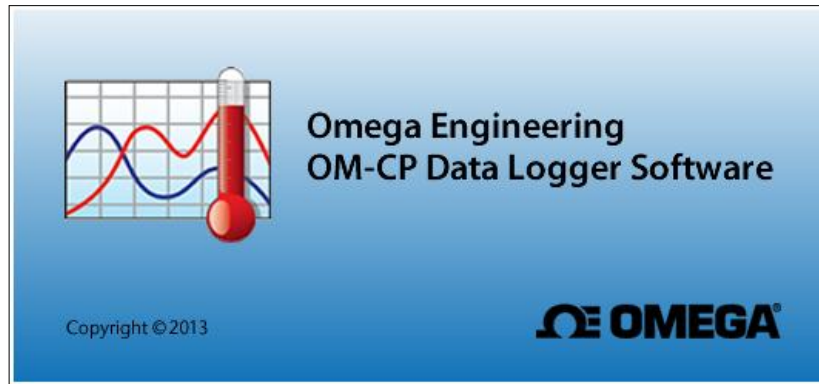
El software, es de la empresa “*Omega Engineering, Inc.* (“Omega”)”, el software fue adquirido con su licencia original. Este dispositivo es clasificado por la empresa Omega como: *OM-CP Data Logger Software*.

Figura 54. **Icono del software para el Data Logger**



Fuente: elaboración propia.

Figura 55. **Ventana de inicio del software**



Fuente: elaboración propia.

El hardware se pone en marcha a través del software y se encierra en una carcasa de teflón cubierta de metal, para protegerlo de las altas temperaturas, dependiendo la temperatura del ambiente a evaluar, así es el tiempo que puede estar dentro de esas condiciones; según una tabla que se encuentra en el manual del dispositivo, se tiene:

Figura 56. **Tiempos máximos del hardware dentro de un horno**

Ambient Temperature, °C (°F)	Max Duration in Minutes
100 (212)	52
150 (302)	30
200 (392)	22
250 (482)	17
260 (500)	16
300 (572)	15
350 (662)	12
400 (752)	10

Fuente: Data Logger Omega. *Manual de operación*. p. 11.

El rango de temperaturas a evaluar dentro del horno estaba entre 353,15 a 423,15 K (80 a 150 °C), con base en la tabla, se realizó un programa en la línea de producción de 35 minutos el ciclo, tomando muestras a cada 0.5 segundos.

Puntos a determinar con el Data Logger:

- Mejor posición de los sensores de temperatura dentro del horno
- Fugas o decrementos de temperatura dentro del horno
- Una temperatura estable en todas las posiciones del horno

7.1. Cambios en los diseños

Estos cambios fueron necesarios para obtener la mejor lectura de la temperatura en los diferentes puntos de la recámara interna del horno, estos son:

7.1.1. Mejor posición de los sensores de temperatura del horno

Esta herramienta fue de mucha importancia en la toma de decisión de la instalación de los sensores de temperatura, ya que se intentó ponerlas en varias partes del horno y la meta era alcanzar una lectura de temperatura igual o lo más semejante posible a la temperatura obtenida por el Data Logger; al principio se habían instalado los sensores en la parte superior del horno, pero daba una diferencia de 283,15 a 288,15 K (10 a 15 °C), luego en una parte lateral, se redujo esta diferencia a 281,15 K (8 °C) y al final, se instalaron en la parte inferior, dando como resultado una diferencia de $\pm 276,15$ K (3 °C).

7.1.2. Fugas o decrementos de temperatura dentro del horno

Se pudo determinar y corregir varias fugas de aire caliente dentro del horno con el Data Logger, ya que en las gráficas se podían ver decrementos anormales en las gráficas y con esto se fue a evaluar los puntos de los decrementos y en efecto, habían fugas de aire caliente, se hicieron estas correcciones y al correr las pruebas de nuevo hubo un cambio significativo en la estabilidad de la temperatura.

7.1.3. Una temperatura estable en todas las posiciones del horno

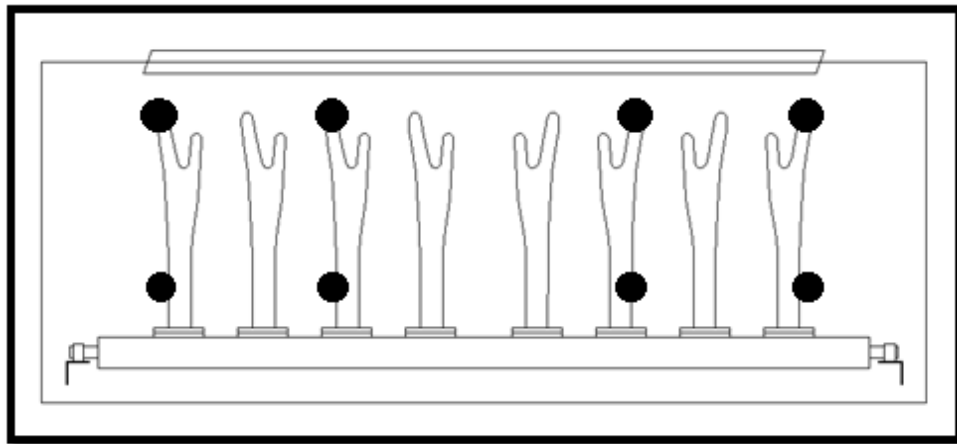
Para lograr una temperatura constante en las diferentes partes internas del horno, con temperatura constante, se hace referencia a un flujo uniforme de aire caliente en todas las direcciones dentro del horno a través de las hormas.

Al principio se tenían diferentes niveles de temperatura dentro del horno; esto no era bueno para el proceso, ya que unas partes del guante serían más calentadas que otras e incluso algunos guantes más calentados que otros.

Se hizo la primera prueba con el horno y algunas tablas de hormas según el diseño original, solo con las paredes aislantes del horno pero se tenían resultados insatisfactorios y temperaturas irregulares dentro del horno. Con esto, según análisis de resultados, se consideró ajustar aún más el espacio del flujo de aire caliente, agregando unas paredes extras entre las hormas y la pared aislante, dando como resultado un flujo de aire caliente bastante uniforme y remolinos dentro de las hormas que daban como resultado temperaturas constantes.

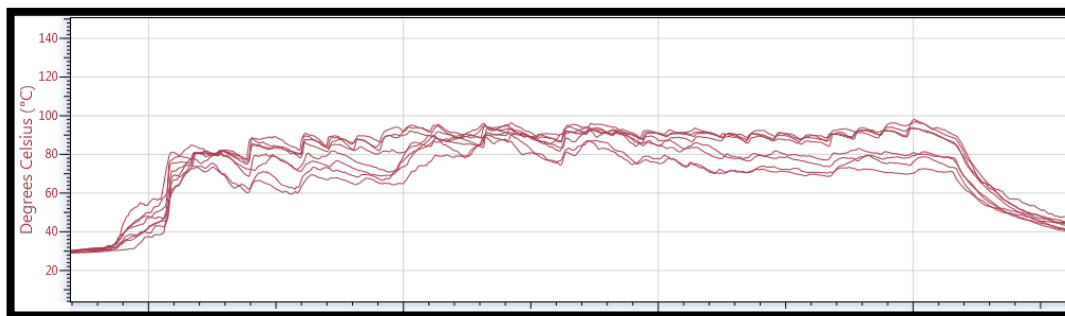
Los sensores de temperatura se colocaron en diferentes puntos, que son los puntos negros destacados en la siguiente figura; el resultado de esto es que no se tenía la misma temperatura en todos los puntos y esto era el problema principal a corregir.

Figura 57. **Diseño original de la recámara del horno y posiciones de los termopares**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

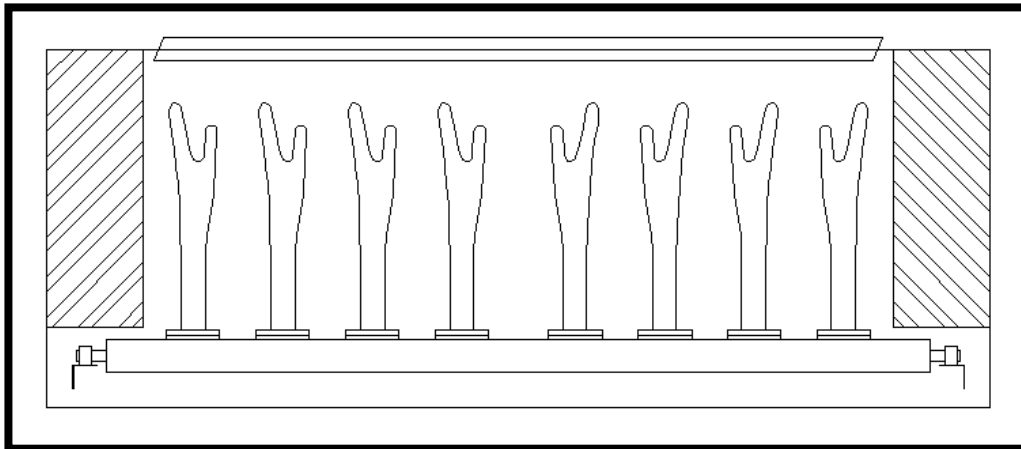
Figura 58. **Primera medición de la temperatura dentro del horno**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

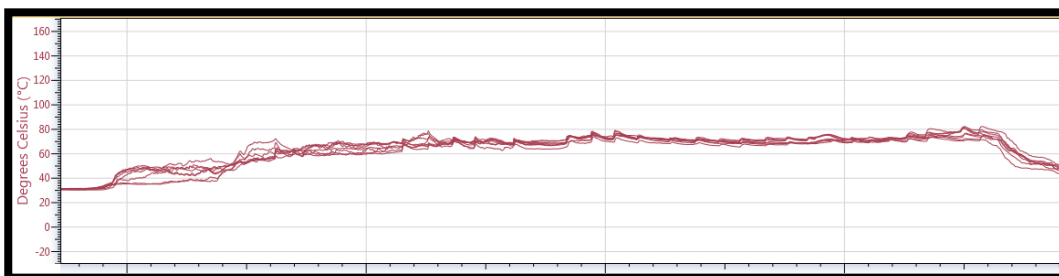
En la primera prueba, se tenía una diferencia entre posiciones de 302,15 K (29 °C), la temperatura estaba en un rango de 342,15 371,15 (69 – 98 °C), después de varias inspecciones y correcciones del horno en donde se encontraron fugas, paredes aislantes no instaladas correctamente y con la corrección de las paredes para que el remolino y flujo de aire que se formará dentro del horno fuera más eficiente, se logró una temperatura casi igual en todos los puntos dentro del horno con una incerteza de $\pm 276,15$ K (3 °C).

Figura 59. **Modificación de la recamara del horno**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Figura 60. **Medición final de la temperatura dentro del horno**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

7.2. Resultados de las pruebas

A continuación se detalla el resultado de las pruebas en donde se encuentran los niveles mínimos y máximos de operación del horno.

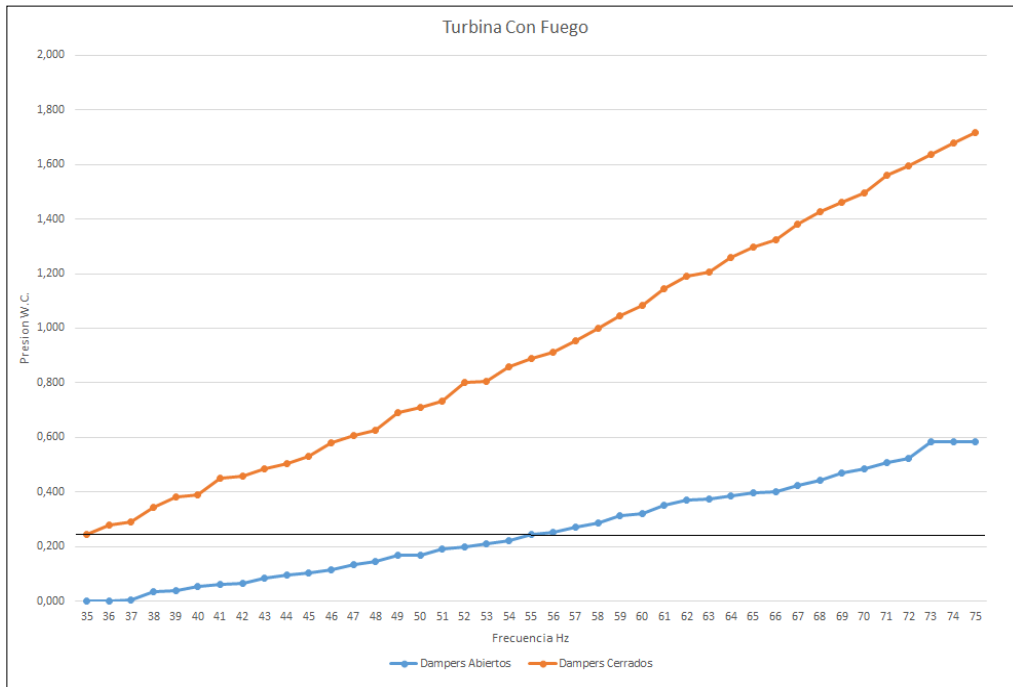
7.2.1. Análisis para el rango mínimo y máximo de operación del horno

Este análisis se hizo para determinar el rango de operación mínimo y máximo de la frecuencia de operación del motor en función de los amperios consumidos por el motor cuando los dámpers estuvieran cerrados y abiertos, así determinar el rango de presión de aire que va a trabajar dentro del horno.

La figura 61 muestra la gráfica de la medición de la presión que había dentro del horno, funcionando en condiciones normales, o sea, aire caliente circulando dentro de él; esto es de suma importancia porque al hacer las mediciones solo con aire normal, es decir sin fuego, los datos cambian, ya que el aire caliente es menos denso que el aire a temperatura ambiente.

Para este análisis se fueron tomando las muestras de presión y de corriente eléctrica a cada incremento de la frecuencia de uno en uno, se empezó el análisis desde los 35 Hz hasta los 75 Hz.

Figura 61. **Gráfica de presiones dentro del horno con los dämpers abiertos y cerrados**



Fuente: elaboración propia.

En la siguiente tabla, están los resultados del análisis de corriente y presión variando la frecuencia.

Tabla VII. **Tabla de corriente eléctrica y presión con los dämpers abiertos y cerrados en función de la variación de frecuencia**

Frecuencia Hz	ABIERTOS		CERRADOS	
	Corriente Amp	Presión W.C.	Presión W.C.	Corriente Amp
35	5,4	0,000	0,245	5,5
36	5,5	0,002	0,280	5,6
37	5,5	0,004	0,290	5,7

Continuación de la tabla VII.

38	5,6	0,035	0,344	5,7
39	5,7	0,038	0,381	5,8
40	5,8	0,053	0,391	6,0
41	5,9	0,061	0,451	6,1
42	6,0	0,067	0,457	6,2
43	6,1	0,083	0,484	6,3
44	6,2	0,095	0,504	6,4
45	6,3	0,103	0,530	6,5
46	6,5	0,115	0,580	6,6
47	6,6	0,133	0,605	6,9
48	6,8	0,145	0,627	7,0
49	6,9	0,168	0,690	7,2
50	7,0	0,170	0,709	7,3
51	7,1	0,190	0,734	7,4
52	7,3	0,200	0,800	7,8
53	7,5	0,209	0,805	7,8
54	7,7	0,220	0,860	8,1
55	7,8	0,245	0,891	8,3
56	8,1	0,253	0,913	8,5
57	8,2	0,271	0,955	8,8
58	8,4	0,288	1,000	9,1
59	8,8	0,312	1,045	9,2
60	9,0	0,322	1,085	9,4
61	9,1	0,352	1,144	9,5
62	9,5	0,371	1,19	10,0
63	9,8	0,374	1,205	10,3
64	9,9	0,385	1,261	10,5
65	10,2	0,398	1,296	11,1
66	10,6	0,402	1,325	11,3
67	11,2	0,425	1,38	11,8
68	11,6	0,441	1,427	12,1
69	12,3	0,470	1,46	12,9
70	12,4	0,484	1,495	13,3
71	13,1	0,509	1,56	13,8
72	13,3	0,522	1,595	14,1
73	14,0	0,585	1,635	15,0
74	14,3	0,585	1,68	15,2
75	15,0	0,585	1,716	16,1

Fuente: elaboración propia.

7.2.2. Rango óptimo de operación del horno

En el rango óptimo, se encuentra el nivel mínimo y el máximo en donde el horno opera en condiciones ideales y óptimas para el mayor desempeño, garantizando la calidad del mismo.

7.2.2.1. Nivel mínimo

El nivel o frecuencia mínima de operación, se determinó analizando ambos resultados, el resultado de la prueba que se hizo con los dámpers cerrados y con los dámpers abiertos. El nivel mínimo de operación del horno fue determinado con base en la gráfica de ambas pruebas, a la intersección en el nivel más bajo de operación; se trató del nivel mínimo de operación del horno, que son los 55 Hz.

Este nivel mínimo es debido al análisis de los dámpers abiertos; este resultado va a ser más bajo el nivel de presión dentro del horno porque tiene más escape de aire la recámara, ahora, con los dámpers cerrados, la presión va a ser mayor dentro de la recámara porque van a ser muy pocos los escapes de aire; por lo tanto se trazó una línea en donde el nivel mínimo operando con los dámpers cerrados intersekte con el rango de operación equivalente a operar con los dámpers abiertos, y esta línea de 55 Hz es aproximadamente 0,245 W.C. (61.03 Pa) a su nivel más bajo y 0,891 W.C. (221.93 Pa) en su nivel más alto, operando a la frecuencia anteriormente mencionada.

Para este nivel mínimo no fue una variable crítica la lectura de corriente del motor, ya que está dentro del rango correcto de operación.

7.2.2.2. Nivel máximo

Para el nivel o frecuencia máxima de operación, también fue necesario analizar ambos resultados de las pruebas con dámpers abiertos y cerrados.

Los niveles máximos se muestran en la figura 61, que fue la gráfica del análisis hasta los 75 Hz, aquí la variable más importante fue la corriente eléctrica del motor del soplador ya que la corriente máxima de operación de este es de 12,5 A.

Se estableció una corriente máxima en nuestro sistema un 15 % más que el máximo del motor; esto para no forzar mucho el motor eléctrica y mecánicamente.

El máximo de corriente que podemos trabajar en el motor, operando este a un 115 % de su rendimiento, será de 14.375 A, que midiendo la corriente eléctrica en el motor al ir aumentando la señal de salida del variador de frecuencia, se obtuvo la corriente máxima a 72 Hz con los dámpers cerrados; aquí es donde se tiene que tomar el escenario más crítico en el sistema.

En este escenario las condiciones en una operación máxima va a operar a 72 Hz y si las condiciones son con dámpers cerrados va a operar a 14,1 A y 1,56 W.C. (388.57 Pa) de presión aproximada dentro del horno, con todos los dámpers abiertos operaría con una corriente de 13.3 A y una presión aproximada de 0,509 W.C. (126.78 Pa) en la recámara.

7.3. Diseño final

El diseño final del horno después de pruebas exhaustivas, quedó operando y diseñado de la siguiente manera:

7.3.1. Rangos y condiciones de operación

Los rangos de operación están descritos en la siguiente tabla; la cual se había hecho mención en la sección anterior, esto es operando el soplador en condiciones óptimas sin exceder la capacidad eléctrica del motor y manteniendo un flujo aceptable dentro de la recámara del horno.

Tabla VIII. Rangos y condiciones de operación

Rango	Frecuencia Hz	ABIERTOS			CERRADOS		
		Corriente Amp	Presión W.C.	Presión Pa	Corriente Amp	Presión W.C.	Presión Pa
Mínimo	55	7,8	0,245	61,03	8,3	0,891	221,93
Máximo	72	13,3	0,509	126.78	14,1	1,56	388,57

Fuente: elaboración propia.

7.3.2. Rangos de temperatura

Los rangos de temperatura a operar sin ningún problema dentro del horno en donde la temperatura es estable y uniforme dentro de toda la recámara son:

Tabla IX. Rangos de temperatura del horno

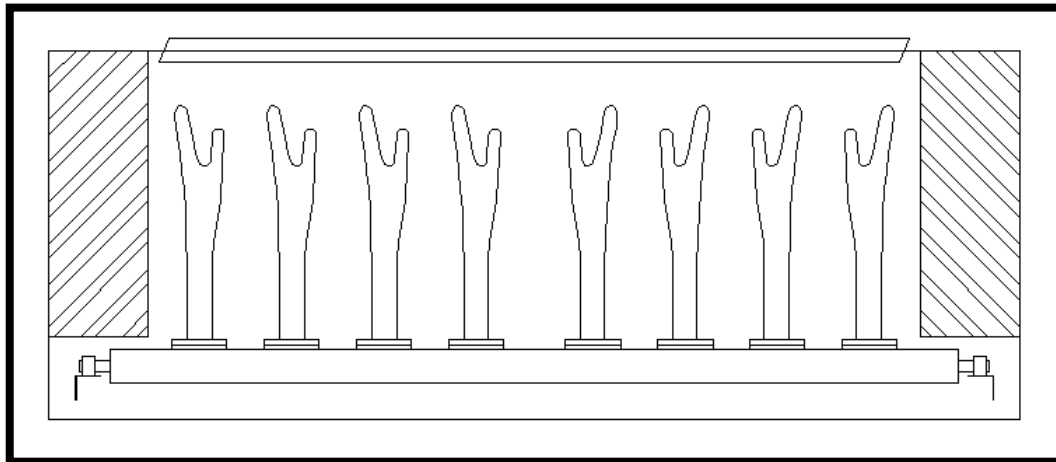
Rango	Temperatura °K	Temperatura °C
Mínimo	348.15	75
Máximo	393.15	120

Fuente: elaboración propia.

7.3.3. Recámara interna del horno

La recámara interna del horno se modificó agregando paredes a los lados para que el flujo dentro del horno fuera mejor y que no se dispersara a través de los lados; con esto se mejoró la temperatura

Figura 62. Diseño final de la recámara del horno



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

7.3.4. Posiciones de los sensores de temperatura

Los sensores de temperatura que en este caso son los termopares tipo J, fueron instalados en la parte inferior de la recámara del horno; esta fue la posición en que la medición de temperatura fue lo más próxima a la medición que daba el Data Logger.

7.4. Precauciones

Las precauciones que se tienen que considerar para la operación, arranque y apagado del horno son las siguientes.

- Verificar que la llave principal de gas este apagada antes de arrancar el horno.
- Arrancar antes la turbina principal, luego la turbina del quemador y cuando ya estén ambas encendidas y operando, abrir la llave de gas para su respectiva ignición.
- Revisar sin llama las partes del horno en donde pase el personal, para ver si hay una fuga del horno y ser reparada antes de calentar el aire.
- Detener el funcionamiento del quemador (la ignición), cerrar la llave de gas antes de apagar en su totalidad el horno, dejar que funcione al menos 5 minutos la turbina del quemador y del horno antes de apagarlo todo.
- Al variador de frecuencia de la turbina principal, se le tiene que programar una rampa de aceleración a la hora de arrancar, al menos de dos minutos para llegar a su frecuencia máxima y de la misma manera, una rampa de desaceleración para su apagado, también de aproximadamente dos minutos.

7.5. Mantenimiento

Para el mantenimiento del horno, se tienen que considerar por tiempo las siguientes indicaciones:

7.5.1. Mantenimiento mensual

- Limpieza general del horno apagado y dejar ventilar sin fuego 20 minutos.
- Revisión de conexiones eléctricas y partes instaladas en la parte superior del horno por las vibraciones, verificar que no estén flojas y si lo están, apretar.
- Revisión del motor de 7,46 kW.
- Revisión de los sensores de temperatura y de su respectivo controlador, estado, conexiones y operación.

7.5.2. Mantenimiento trimestral

- Revisión de los controladores Belimo, estado, conexiones, funcionamiento.
- Revisión de lámina y de paredes de fibra de vidrio aislantes.
- Revisión de faja que va del motor de 7,46 kW hacia la turbina principal.
- Revisión del chispero, transformador de alto voltaje y electrodo.

7.5.3. Mantenimiento semestral

- Revisión mecánica de los motores de la turbina principal y la del quemador.
- Revisión tren de gas: reguladores, tubería, fugas, manómetros y válvulas.

CONCLUSIONES

1. Dadas las exigencias y necesidades del horno se logró el objetivo, que era construir un horno no hermético a base de aire caliente para el secado de guantes de látex.
2. Los rangos de temperatura que se pueden operar dentro del horno son de un mínimo de 348,15 K (75 °C) a un máximo de 393,15 K (120 °C) sin ningún problema y sin alterar la estabilidad de temperatura dentro del horno.
3. El aislamiento utilizado, planchas de fibra de vidrio de 50,8⁻³ m (2") de ancho, cumplió con las necesidades y seguridades del horno.
4. La temperatura dentro del horno se logró que fuera estable en cualquier punto dentro del horno, gracias a exhaustivas pruebas y cambios en el diseño original.
5. El flujo de aire dentro de la recámara es constante y controlado por el variador de frecuencia de 7,46 kW para regular la velocidad de la turbina principal en función de la demanda.
6. La instrumentación utilizada en este horno cumplió de manera ideal las exigencias a los problemas a solucionar.

RECOMENDACIONES

1. Antes de operar el horno, leer y entender bien la teoría de operación y la importancia de cada sistema del mismo.
2. Tener equipo de protección personal y externo por cualquier accidente, como lentes que protejan del aire caliente, extinguidor para fuegos creado por gases y descargas eléctricas.
3. Siempre, antes de apagar el horno, apagar la ignición, cerrar la llave principal de gas y dejar corriendo el aire de las turbinas al menos 5 minutos.
4. Cumplir con los controles de mantenimiento programado está en la disposición de añadir puntos conforme a la experiencia del funcionamiento del horno.

BIBLIOGRAFÍA

1. ASTIGARRAGA, Julio; AGUIRRE, José Luís. *Hornos industriales de resistencia*. 6a ed. España: Mc Graw-Hill, 1999. 208 p.
2. A. KAYA; T.J. SCHEIB, *Tuning of PID controls of different structures*. *Contr. Eng.*, vol. 35, No. 7, Julio 1988, 315 p.
3. ASTROM, Karl J., *Control de PID avanzado*. España: Prentice-Hall, 2009, 504 p. ISBN 9788483225110.
4. GAS NATURAL SDG, S.A., Hornos de gas [en línea]. <<http://www.empresaeficiente.com/es/catalogo-de-tecnologias/hornos-de-gas>>, [Consulta: noviembre de 2014].
5. KUZNETSOV, Mario. *Fundamentos de electrotecnia*. 2a ed. Moscú: Mc Graw-Hill, 1967, 566 p.

