





**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y  
ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE  
CONTROL DE TEMPERATURA DE UN HORNO PARA  
TRATAMIENTO TÉRMICO DE PIEZAS METÁLICAS EN EL  
LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL DE LA  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE  
EXTENSIÓN LATACUNGA**

**AUTORES: FREDDY RODRIGO ROMERO BEDÓN  
MARVIN BRYAN RUBIO ZAPATA**

**DIRECTOR: ING. JUAN CORREA  
CODIRECTOR: ING. WILSON SÁNCHEZ**

**LATACUNGA**

**2015**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE  
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**CERTIFICADO**

ING. JUAN CORREA (DIRECTOR)  
ING. WILSON SÁNCHEZ (CODIRECTOR)

**CERTIFICAN:**

Que el trabajo titulado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE CONTROL DE TEMPERATURA DE UN HORNO PARA TRATAMIENTO TÉRMICO DE PIEZAS METÁLICAS EN EL LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**”, realizado por los señores **FREDDY RODRIGO ROMERO BEDÓN** y **MARVIN BRYAN RUBIO ZAPATA**, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que ayudará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, SI recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de UN documento empastado y UN disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a los señores Freddy Rodrigo Romero Bedón y Marvin Bryan Rubio Zapata que lo entregue la señora Ing. Katya Torres Vásquez, en su calidad de Directora de la Carrera.

Latacunga, Mayo del 2015.

.....  
Ing. Juan Correa  
DIRECTOR

.....  
Ing. Wilson Sánchez  
CODIRECTOR

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE  
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros,  
FREDDY RODRIGO ROMERO BEDÓN  
MARVIN BRYAN RUBIO ZAPATA

**DECLARAMOS QUE:**

El proyecto de grado titulado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE CONTROL DE TEMPERATURA DE UN HORNO PARA TRATAMIENTO TÉRMICO DE PIEZAS METÁLICAS EN EL LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Mayo del 2015.

.....  
Freddy Rodrigo Romero Bedón  
C.C.: 0503499642

.....  
Marvin Bryan Rubio Zapata  
C.C.: 2100452891

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE  
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Nosotros,

**FREDDY RODRIGO ROMERO BEDÓN  
MARVIN BRYAN RUBIO ZAPATA**

**AUTORIZAMOS**

A la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca Virtual de la Institución del trabajo titulado: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE CONTROL DE TEMPERATURA DE UN HORNO PARA TRATAMIENTO TÉRMICO DE PIEZAS METÁLICAS EN EL LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Mayo del 2015.

.....  
Freddy Rodrigo Romero Bedón  
C.C.: 0503499642

.....  
Marvin Bryan Rubio Zapata  
C.C.: 2100452891

## DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios quien supo guiarme por un buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentan, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

Con todo mi cariño y mi amor a mis padres y hermana que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

A mis tíos y primos, que siempre estuvieron listos para brindarme toda su ayuda, ahora es mi oportunidad de regresar un poquito de todo lo inmenso que me han otorgado.

A tu paciencia y comprensión, por formar parte de mi vida en todo este camino, preferiste sacrificar tu tiempo para que yo pudiera cumplir con el mío. Por tu bondad y amor me inspiraste a ser mejor para ti, gracias por estar a mi lado en esta etapa de mi vida, Magaly.

**RODRIGO**

Esta tesis la dedico primeramente a Dios por darme la oportunidad de vivir, las fuerzas y las ganas necesarias para poder seguir adelante en mis estudios y poder hacer realidad lo que un día fue uno de mis mejores sueños sin importar los obstáculos encontrados en el camino.

A mi abuelita y abuelito por criarme y apoyarme desde el momento en que me vieron nacer siempre han estado a mi lado dándome el cariño y amor que jamás podre tener durante mi vida.

A mi madre por darme la luz de vida, por estar siempre a mi lado con su corazón durante todo el tiempo que estuve fuera de casa y en los momentos más difíciles me apoyo a pesar de todos los problemas.

A mi padre que es el motor principal de mi familia, aunque con sus enojos siempre supe que me ama que aunque hubo problemas pero nos ha mantenido juntos como una familia.

A mi hermano Arley y a mi hermana Damaris que muchas de las veces dejaron de tener sus cosas por apoyarme a mí que estaba fuera y lejos de casa.

A mis tíos Alexander, Araceli, Franklin, Byron, Edit, Washo e Isidro que fueron el apoyo anímico y económico que me hacía falta para lograr este objetivo.

**BRYAN**

## **AGRADECIMIENTO**

Le doy mi eterno agradecimiento a mi mamá y a sus grandes valores y principios como su valentía, sencillez, honestidad y a la capacidad de hacer las cosas con amor y a nunca darse por vencida a pesar de las adversidades, y muchas cualidades que me las ha sabido transmitir, y que sin esta persona especial no sería la persona que soy y no hubiera alcanzado este logro.

A mi abuelito Nicanor Bedón (+) que en estos momentos me ve desde el cielo y sin duda la persona que me cuidó y dio todo su amor en mi infancia formando un hombre de bien y espero nunca defraudarle.

A mi compañero de tesis y amigo que a pesar de los problemas encontrados en el camino para llegar a este logro hemos sabido superarlo.

A mi hermana Madelen y a mi papá Luis Ángel que me han brindado apoyo y sobretodo amor en mi vida, personas con las que siempre puedo contar y confiar.

A mi familia y amigos que siempre me han apoyado en todos los aspectos de mi vida, sin dejarme solo en los momentos difíciles.

### **RODRIGO**

Agradezco a Dios por mantenerme vivo y derramar bendiciones sobre mí por haberme permitido terminar este sueño que un día empezó y ahora es realidad.

A toda mi familia que estuvieron junto a mí dándome apoyo cariño y amor que jamás dudaron y siempre creyeron en que lo lograría sin importar en la situación en que estuviéramos pero siempre tuvieron el gran gesto de cariño hacia mí.

A mi compañero y amigo del proyecto con el que hemos logrado formar un gran equipo y a pesar de los problemas nunca nos dimos por vencidos y siempre estuvimos los dos para solucionarlos.

A todos mis amigos, compañeros que siempre estuvieron a mi lado a pesar de mi comportamiento durante mi época de vida en Latacunga.

### **BRYAN**

Nuestro agradecimiento a la Universidad, tutores de tesis Ing. Juan Correa, Ing. Wilson Sánchez y nuestros profesores en general, por habernos transmitido sus conocimientos y valores para ayudarnos en nuestra formación personal y académica.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CARÁTULA .....</b>	<b>i</b>
<b>CERTIFICADO .....</b>	<b>ii</b>
<b>DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....</b>	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....</b>	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS.....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>xv</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xx</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xxi</b>
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>1</b>
<b>1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>1</b>
1.1. Horno utilizado en el proyecto para tratamientos térmicos.....	1
1.1.1. Características principales del horno.....	1
1.1.2. Partes principales del horno .....	2
a. Ladrillos refractarios de hornos.....	2
b. Elementos de calefacción .....	2
c. Mirillas .....	3
d. Ventilación prop “r” .....	4
1.2. Termopar .....	4
1.2.1. Definición.....	4
1.2.2. Funcionamiento.....	5
1.2.3. Termopares tipo K (cromel - alumel).....	5
1.2.4. Características principales del termopar.....	5
1.3. Cilindro neumático .....	5
1.3.1. Cilindros de doble efecto.....	6
1.4. Válvulas neumáticas.....	7
1.4.1. Simbología .....	7

1.4.2.	Válvulas cinco vías y dos posiciones .....	8
1.4.3.	Control del avance y retroceso de los actuadores neumáticos .....	8
1.4.4.	Regulación de velocidad de los actuadores neumáticos.....	9
1.5.	Unidad de mantenimiento .....	10
1.6.	Técnicas de tratamientos térmicos del acero.....	11
1.6.1.	El temple o templado.....	11
a.	Temple del acero AISI 4340 utilizado para el proyecto.....	12
b.	Temple del acero AISI 01 (DF2) utilizado para el proyecto.....	12
c.	El revenido del acero.....	13
d.	Revenido del acero AISI 4340 utilizado para el proyecto.....	13
e.	Revenido del acero AISI 01 (DF2) utilizado para el proyecto.....	13
f.	Alivio de tensiones del acero AISI 4340 utilizado para el proyecto .....	14
g.	Alivio de tensiones del acero AISI 01 (DF2) utilizado para el proyecto .....	15
1.6.2.	Características de los aceros y tratamientos usados en el proyecto .....	15
a.	Características del acero AISI 4340 .....	15
b.	Características del acero AISI 01 (DF2) .....	16
1.7.	Controlador lógico programable (PLC) .....	17
1.7.1.	Plc simatic S7-1200.....	18
1.8.	Pantalla touch screen HMI .....	19
1.9.	Encendido por ciclo rápido.....	20
1.10.	Relé de estado sólido.....	22
1.10.1.	Ventajas de utilizar los relés de estado sólido.....	22
1.10.2.	Aplicaciones típicas.....	23
1.10.3.	Consideraciones especiales .....	23
1.11.	Pruebas para propiedades mecánicas .....	23
1.11.1.	Dureza .....	23
a.	Resistencia a la indentación .....	24
b.	Prueba o ensayo de dureza Rockwell.....	25
	<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>27</b>
	<b>2. ANÁLISIS Y DISEÑO .....</b>	<b>27</b>
2.1.	Análisis térmico.....	27

2.1.1.	Pérdidas de calor por las paredes .....	27
2.1.2.	Análisis de pérdidas de calor por conducción y convección de un horno octogonal para tratamiento térmico.....	28
a.	Área total de una plancha de ladrillo refractario (dos segmentos).....	28
b.	Área total de una plancha de acero inoxidable (un segmento).....	29
2.1.3.	Transferencia de calor por conducción en dos paredes planas en serie .....	29
2.1.4.	Conducción térmica a través de paredes planas en serie.....	31
2.1.5.	Tapas del horno .....	32
a.	Análisis en tapa cuadrada.....	32
b.	Cálculo de áreas despreciables .....	32
2.1.6.	Transferencia de calor por conducción total en el horno octogonal.....	34
2.1.7.	Transferencia de calor por convección.....	34
2.1.8.	Analogía eléctrica de conducción y convección .....	36
2.2.	Diseño mecánico .....	37
2.2.1.	Diseño neumático.....	37
a.	Parámetros de diseño.....	38
b.	Análisis del ángulo de apertura de la tapa.....	39
c.	Análisis de la fuerza de apertura de la tapa .....	40
2.2.2.	Diseño mecánico del vástago .....	43
2.2.3.	Diseño estructural.....	46
a.	Parámetros de diseño.....	47
b.	Elementos críticos dentro de la estructura.....	47
c.	Cálculo de las reacciones y momentos flexionantes en vigas .....	48
d.	Fuerzas cortantes .....	48
e.	Momentos flexionantes .....	48
f.	Cálculo de las fuerzas de reacción en las barras .....	49
g.	Cálculo de las fuerzas totales que actúan sobre la estructura.....	52
2.3.	Análisis en software para diseño mecánico.....	53
2.3.1.	Transferencia de calor del horno.....	53
2.3.2.	Análisis de pandeo del vástago .....	57
2.3.3.	Análisis del diseño mecánico del vástago .....	57
2.3.4.	Análisis de los elementos críticos dentro la estructura.....	58

a.	Material utilizado para el análisis de la estructura en software para diseño mecánico .....	58
b.	Cargas y sujeciones aplicadas a la estructura metálica .....	59
c.	Fuerzas resultantes del análisis de las cargas aplicadas a la estructura.....	60
2.3.5.	Material utilizado en la construcción de la estructura.....	61
2.3.6.	Ensayo de deformaciones totales y factor de diseño .....	62
2.4.	Diseño eléctrico.....	63
2.4.1.	Parámetros de diseño.....	63
a.	Características del contactor.....	64
b.	Conexión del contactor.....	65
2.4.2.	Diagrama de conexión de los elementos de control .....	66
2.4.3.	Diagrama de control para el accionamiento del cilindro neumático .....	67
2.4.4.	Control de encendido apagado .....	67
2.4.5.	Diagramas de flujo .....	69
2.5.	Configuración del plc siemens S7-1200.....	71
2.6.	Programación de la pantalla HMI .....	76

### **CAPÍTULO 3..... 80**

<b>3.</b>	<b>PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>80</b>
3.1.	Implementación del sistema .....	80
3.1.1.	Implementación del diseño estructural.....	80
3.1.2.	Implementación del sistema neumático .....	81
a.	Implementación de la unidad de mantenimiento neumática .....	81
b.	Implementación de la electroválvula de doble pilotaje .....	82
c.	Implementación de la válvula de estrangulación de aire.....	82
d.	Implementación del pistón neumático.....	83
3.1.3.	Implementación de los equipos de automatización.....	83
a.	Implementación de la termocupla tipo K.....	83
b.	Implementación del plc siemens S7-1200.....	84
c.	Implementación de la touch panel siemens KTP-400 .....	85

d.	Implementación de los switch selectores de controles de temperatura y encendido de equipos .....	86
e.	Implementación de las borneras para el cableado eléctrico .....	86
f.	Implementación del contactor y auxiliares del contactor.....	87
g.	Implementación de fusibles para la protección de equipos .....	87
h.	Implementación de los relés de estado sólido .....	88
i.	Implementación de la fuente de poder Logo-Power .....	89
3.2.	Descripción física del proyecto .....	89
3.3.	Pruebas de funcionamiento .....	90
3.3.1.	Parámetros de funcionamiento .....	91
3.3.2.	Pruebas experimentales al sistema .....	91
3.4.	Protocolo de pruebas del horno y del material.....	96
3.5.	Análisis de resultados.....	96
3.5.1.	Proceso de temple aceros AISI 4340 y AISI 01 .....	96
3.5.2.	Proceso de revenido y alivio de tensiones aceros AISI 4340 y AISI 01 .....	97
a.	Prueba de dureza en la probeta.....	97
b.	Resultados del ensayo de dureza Rockwell C.....	98
c.	Resultados del análisis de la micrografía realizada a los aceros AISI 4340 y AISI 01 (DF2).....	99
3.6.	Manual de operación del sistema de automatización del horno.....	102
3.7.	Procedimiento para el mantenimiento preventivo del horno.....	112
3.8.	Procedimiento para el mantenimiento preventivo del cilindro neumático...	112
<b>CAPÍTULO 4.....</b>		<b>113</b>
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>113</b>
4.1.	Conclusiones .....	113
4.2.	Recomendaciones.....	114
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>116</b>
<b>NETGRAFÍA.....</b>		<b>117</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>119</b>
Anexo A .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	

Glosario de términos .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo B .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Hojas de especificaciones técnicas.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo C .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tablas de constantes para diseño y manual de los aceros AISI 4340 y AISI 01 (DF2) .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo D .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Programación en Tia Portal PLC S7 – 1200 y Touch Panel .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo E.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Modelación y resultados de la estructura en software de diseño	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo F.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Planos de la estructura y el conjunto con el horno y el pistón ...	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo G .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Manuales de mantenimiento preventivo para componentes de la planta de tratamiento térmico.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO 1

Tabla 1.1. Características del horno.....	1
Tabla 1.2. Características del Termopar tipo K según (Norma IEC-584-1982).....	5
Tabla 1.3. Tiempos para el temple del DF2 (AISI 01).....	12
Tabla 1.4. Propiedades químicas del acero AISI 4340. ....	15
Tabla 1.5. Normas de equivalencia del acero AISI 4340.....	15
Tabla 1.6. Propiedades mecánicas del acero AISI 4340. ....	16
Tabla 1.7. Propiedades químicas del acero AISI 01 o DF2. ....	16
Tabla 1.8. Normas de equivalencia del acero AISI 01.....	17
Tabla 1.9. Propiedades mecánicas del acero AISI 01. ....	17
Tabla 1.10. Escala de durezas Rockwell.....	26

### CAPÍTULO 2

Tabla 2.1. Propiedades estructurales del tubo cuadrado ASTM A36 de acero de 20 X 20 mm. ....	59
Tabla 2.2. Propiedades volumétricas del tubo cuadrado para la estructura del horno.....	59
Tabla 2.3. Fuerza aplicada por el horno sobre la base de la estructura.....	60
Tabla 2.4. Fuerza aplicada por el cilindro neumático para la apertura de la tapa.....	60
Tabla 2.5. Fuerzas de reacción a las cargas aplicadas a la estructura. ....	61
Tabla 2.6. Propiedades estructurales del tubo cuadrado (DIPAC).....	62
Tabla 2.7. Características del Contactor. ....	64

### CAPÍTULO 3

Tabla 3.1. Características del PLC.....	84
Tabla 3.2. Características relé de estado sólido. ....	88
Tabla 3.3. Parámetros de funcionamiento.....	91
Tabla 3.4. Pruebas experimentales del sistema.....	92
Tabla 3.5. Resultados del ensayo de dureza Rockwell C a los aceros AISI 4340 y AISI 01 (DF2).....	98

Tabla 3.6. Resumen de las pruebas y tratamientos térmicos realizados en el proyecto para el acero AISI 01 (DF2). .....	100
Tabla 3.7. Resumen de las pruebas y tratamientos térmicos realizados en el proyecto para el acero AISI 4340. ....	101

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

Figura 1.1. Ladrillos refractarios de hornos. ....	2
Figura 1.2. Elementos de calefacción. ....	3
Figura 1.3. Mirillas.....	3
Figura 1.4. Ventilación prop “r”. ....	4
Figura 1.5. Partes del Cilindro Neumático.....	6
Figura 1.6. Cilindro émbolo de doble efecto.....	7
Figura 1.7. Representación de una válvula neumática. ....	8
Figura 1.8. Representación de Válvula Cinco Vías y Dos Posiciones.....	8
Figura 1.9. Control de avance y retroceso de un cilindro neumático de doble efecto.....	9
Figura 1.10. Esquema de una válvula reguladora de velocidad. ....	9
Figura 1.11. Válvula reguladora de caudal. ....	10
Figura 1.12. Vista en sección de una unidad de mantenimiento.....	11
Figura 1.13. Temperaturas a las que se somete un acero AISI 01 para revenirle y obtener diferentes durezas. ....	14
Figura 1.14. Estructura Básica de un PLC. ....	18
Figura 1.15. PLC Siemens S7-1200 1212C AC/DC/RLY.....	19
Figura 1.16. Pantalla HMI Siemens. ....	20
Figura 1.17. Comportamiento de los tiristores.....	21
Figura 1.18. Funcionamiento de los tiristores.....	21
Figura 1.19. Relé de estado sólido o SSR. ....	22
Figura 1.20. Funcionamiento del relé de estado sólido.....	23
Figura 1.21. Durómetro Rockwell. ....	25

### CAPÍTULO 2

Figura 2.1. Conducción Unidimensional estacionaria a través de una pared plana. ..	28
Figura 2.2. Distribución de temperaturas para conducción estacionaria a través de una pared plana compuesta y el circuito térmico correspondiente. .	29
Figura 2.3. Distribución de la temperatura para la transferencia de calor estacionaria a través de una pared plana compuesta y circuito térmico equivalente,	

en el caso de que la superficie interna y externa pierde calor solo por convección. ....	37
Figura 2.4. Geometría del sistema de elevación de la tapa del horno. ....	38
Figura 2.5. Cargas que actúan sobre el sistema de elevación de la tapa. ....	41
Figura 2.6. Esquema de un cilindro neumático. ....	43
Figura 2.7. Estructura metálica. ....	47
Figura 2.8. Barras que soportan el peso del horno. ....	48
Figura 2.9. Representación esquemática de una viga con dos apoyos fijos. ....	48
Figura 2.10. Representación esquemática de la barra que sostiene al horno. ....	49
Figura 2.11. Representación de los momentos y las reacciones existentes en las vigas. ....	49
Figura 2.12. Gráfico de la hipótesis de carga de una viga estáticamente indeterminada. ....	50
Figura 2.13. Diagrama de cuerpo libre de las fuerzas que actúan sobre la estructura del horno. ....	52
Figura 2.14. Transferencia de temperatura del horno. ....	54
Figura 2.15. Transferencia de potencia calorífica en una pared del horno. ....	54
Figura 2.16. Transferencia de potencia calórica del horno en todo el acero inoxidable. ....	55
Figura 2.17. Transferencia de potencia calórica total del horno. ....	55
Figura 2.18. Corte por sección del horno en planta. ....	56
Figura 2.19. Diferentes puntos de calor en las paredes del horno. ....	56
Figura 2.20. Deformación total por pandeo del vástago. ....	57
Figura 2.21. Cilindro y el vástago aplicado la carga crítica. ....	58
Figura 2.22. Factor de diseño resultante para la estructura. ....	62
Figura 2.23. Contactor LG modelo LS de 25 Amperios AC1. ....	63
Figura 2.24. Accesorios para el contactor Metasol. ....	63
Figura 2.25. Diagrama de potencia y control de la conexión entre el contactor y las resistencias calefactoras. ....	65
Figura 2.26. Diagrama de conexiones entre los dispositivos de control. ....	66
Figura 2.27. Diagrama de conexiones para el accionamiento del cilindro neumático. ....	67

Figura 2.28. Control encendido-apagado.....	68
Figura 2.29. Flujograma del funcionamiento para el control de temperatura.....	69
Figura 2.30. Diagrama de flujo de las operaciones de la pantalla HMI.....	70
Figura 2.31. Configuración del dispositivo.....	71
Figura 2.32. Selección del CPU.....	72
Figura 2.33. Agregar módulos.....	73
Figura 2.34. Asignación de una dirección IP y submáscara de red para la PC.....	74
Figura 2.35. Configuración IP en el PLC.....	75
Figura 2.36. Comprobación de la comunicación “Online”.....	75
Figura 2.37. Dispositivos conectados.....	76
Figura 2.38. Agregar pantalla HMI.....	77
Figura 2.39. Funciones de la pantalla HMI.....	77
Figura 2.40. Presentación de la pantalla HMI.....	78
Figura 2.41. Asignación de la dirección IP a la pantalla HMI.....	79

### **CAPÍTULO 3**

Figura 3.1. Acero ASTM A36 de 20 X 20 mm.....	80
Figura 3.2. Suelda por arco eléctrico (SMAW).....	80
Figura 3.3. Recubrimiento con plancha de acero inoxidable.....	81
Figura 3.4. Unidad de mantenimiento neumática.....	81
Figura 3.5. Electroválvula de doble pilotaje.....	82
Figura 3.6. Válvula de estrangulación de aire.....	82
Figura 3.7. Pistón neumático.....	83
Figura 3.8. Termocupla tipo K.....	83
Figura 3.9. PLC Siemens S7-1200 1212C AC/DC/RLY.....	84
Figura 3.10. Touch Panel Siemens KTP-400 Monocromática.....	85
Figura 3.11. Switch selectores de controles de temperatura y encendido de equipos.....	86
Figura 3.12. Borneras para el cableado eléctrico.....	87
Figura 3.13. Contactor y auxiliares del contactor.....	87
Figura 3.14. Fusibles para la protección de equipos.....	88
Figura 3.15. Relés de estado sólido.....	89

Figura 3.16. Fuente LOGO. ....	89
Figura 3.17. Planta de tratamientos térmicos para piezas metálicas. ....	90
Figura 3.18. Control del horno que realiza el tratamiento para piezas de cerámica. .	92
Figura 3.19. Relé térmico. ....	92
Figura 3.20. Interruptores para el encendido de la planta de tratamientos térmicos..	92
Figura 3.21. Contactor de la selección del control. ....	92
Figura 3.22. Relé de estado sólido activado. ....	93
Figura 3.23. Cable de comunicación Ethernet Cat 5. ....	93
Figura 3.24. Verificación de la comunicación Ethernet. ....	93
Figura 3.25. Simulador S7-PLCSIM V12 ejecutándose. ....	93
Figura 3.26. Equipo de control conectado y funcionando. ....	94
Figura 3.27. Switch Ethernet para realizar la comunicación de dispositivos entre sí. ....	94
Figura 3.28. Dispositivos conectados en red (PLC y HMI). ....	94
Figura 3.29. Termocupla dentro del horno ubicada junto a la probeta que está siendo tratada. ....	94
Figura 3.30. Módulo de entrada analógica para termocupla tipo J o K (SB 1221 TC). ....	95
Figura 3.31. Vista de la lectura del SB 1221 para termocupla tipo J o K. ....	95
Figura 3.32. Vista de la pantalla HMI leyendo la temperatura real del proceso. ....	95
Figura 3.33. Interfaz hombre máquina (HMI). ....	95
Figura 3.34. Horno para tratamientos térmicos para aceros en funcionamiento. ....	96
Figura 3.35. Durómetro Rockwell. ....	97
Figura 3.36. Curvas de la variación de la dureza Rockwell C en los aceros tratados. ....	99
Figura 3.37. Encendido del sistema de automatización del horno. ....	102
Figura 3.38. Encendido de los equipos de automatización del horno. ....	102
Figura 3.39. Pantalla de inicio. ....	103
Figura 3.40. Pantalla menú principal. ....	103
Figura 3.41. Tratamiento térmico del acero AISI 4340. ....	104
Figura 3.42. Temple del acero AISI 4340. ....	104
Figura 3.43. Tratamiento térmico del acero AISI 4340. ....	105

Figura 3.44. Revenido del acero AISI 4340.....	105
Figura 3.45. Tratamiento térmico del acero AISI 4340. ....	106
Figura 3.46. Alivio de tensiones del acero AISI 4340. ....	106
Figura 3.47. Tratamiento térmico del acero AISI 4340. ....	107
Figura 3.48. Planta de tratamiento térmico. ....	107
Figura 3.49. Tratamiento térmico del acero AISI 01(DF2). ....	108
Figura 3.50. Temple del acero AISI 01 (DF2). ....	108
Figura 3.51. Tratamiento térmico del acero AISI 01 (DF2). ....	109
Figura 3.52. Revenido del acero AISI 01 (DF2). ....	109
Figura 3.53. Tratamiento térmico del acero AISI 01 (DF2). ....	110
Figura 3.54. Alivio de tensiones del acero AISI 01 (DF2). ....	110
Figura 3.55. Tratamiento térmico del acero AISI 01 (DF2). ....	111
Figura 3.56. Planta de tratamiento térmico. ....	111

## RESUMEN

Dado el constante requerimiento de producción de mejores tecnologías para el desenvolvimiento de nuestra vida cotidiana, que permita abastecer la demanda nacional y en lo posterior crear un mercado internacional, el tratamiento y mejoramiento de la materia prima es el pilar para que esto suceda, y todo ingeniero que tiene que ver con materiales ya sea en manufactura y procesamientos, y en el diseño y construcción de componentes o de estructuras. Deben seleccionar y utilizar materiales y analizar la falla de los mismos, así como también si el material o su fabricación pueden causar problemas ecológicos. Por lo que el presente proyecto diseñado, desarrollado e implementado en el laboratorio de Control Industrial brinda la oportunidad de proporcionar dos tratamientos térmicos convencionales como son temple y revenido que se conoce como bonificado que mejora o beneficia al acero, aumentando su vida útil. Este proceso se lo aplicó a dos probetas con contenido de carbono diferentes, el acero AISI 4340 y AISI 01 (DF2), este proceso hace más tenaz y menos quebradizo a los aceros en cuestión. Para lo que es necesario implementar un sistema de control de temperatura para un horno capaz de llegar a temperaturas máximas de temple de hasta 860 °C, siendo la temperatura una de las cuatro variables físicas más importantes en la industria, la cual es controlada por un PLC y una pantalla HMI para el monitoreo de la variable y selección del proceso térmico, el control de la temperatura se realiza mediante resistencias eléctricas que son gobernadas por dos relés de estado sólido (SCR) que realiza la conexión y desconexión de la corriente entregada y de esta manera alargar la vida útil de las resistencias calefactoras.

### ***PALABRAS CLAVE:***

- ***INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA***
- ***SISTEMAS TÉRMICOS DE CONTROL AUTOMÁTICO***
- ***ACERO-TRATAMIENTO***
- ***ESPEL-LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL.***

## ABSTRACT

Give the requirement of production of best technologies for the development of our daily lives that allows supply the national demand and in the future an international market, treatment and improvement of the raw material is the foundation for this to happen, and each engineer has to do with materials either in manufacturing and processing, and the design and construction of components or structures. Must select and use materials and analyzing the failure thereof, as well as if the material or manufacture can cause ecological problems. This project designed, developed and implemented in the laboratory of Industrial Control provides an opportunity to provide two conventional heat treatments as they are hardening and tempering that is known as bonus to improve the steel, increasing the useful lives. This process had given of two specimens with different content of carbon, the steel AISI 4340 and AISI 01 (DF2), this process makes tougher and less brittle the steel. For what it is necessary to implement a system temperature control for an oven able of reaching maximum temperatures of tempering up to 860 °C, the temperature being one of the four most important physical variables in the industry, which one is controlled by PLC and HMI screen to monitor the variable and heat selection process, the temperature control is performed by electrical resistors which are governed by two solid state relays (SCR) that makes the connection and disconnection of the current give and with this way extend the life of the heating resistors.

### **KEYWORDS:**

- ***ELECTROMECHANICAL ENGINEER***
- ***THERMAL AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS***
- ***STEEL-TREATMENT***
- ***LAB INDUSTRIAL CONTROL ESPEL.***

## CAPÍTULO 1

### 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 1.1. HORNO UTILIZADO EN EL PROYECTO PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Un horno industrial es un equipo que calienta, a una temperatura muy superior a la ambiente, materiales o piezas situadas dentro de un espacio cerrado. Con el calentamiento se pueden fusionar metales, ablandarlos, vaporizarlos o recubrir piezas con otros elementos para crear nuevos materiales o aleaciones. Existen los llamados hornos de resistencia que son aquellos que obtienen la energía eléctrica a través de resistencias eléctricas que se calientan por el efecto Joule. Las resistencias transferirán el calor a la carga a través de la radiación. Este tipo de hornos de calentamiento por radiación suelen alcanzar temperaturas de hasta 1200°C. En su interior podemos encontrar resistencias eléctricas de hilo bobinado tipo Kanthal.

##### 1.1.1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL HORNO

A continuación se detallan en la **Tabla 1.1**, las características del horno Paragon Touch Fire utilizado en este proyecto para realizar el tratamiento térmico de dos tipos de acero.

**Tabla 1.1. Características del horno.**

<b>Temperatura Máx.</b>	2300°F (1259°C)
<b>Amperaje</b>	30 Amp
<b>Número de Fases</b>	1
<b>Potencia</b>	7200Watts
<b>Tamaño del Disyuntor</b>	50
<b>Tamaño Circuito de alambre de cobre</b>	Calibre 6
<b>Probado por TUV para CSA y UL estándar 499</b>	Si
<b>Voltaje</b>	240V
<b>Frecuencia</b>	60 Hertz
<b>Peso</b>	90,72 Kg
<b>Lados</b>	8

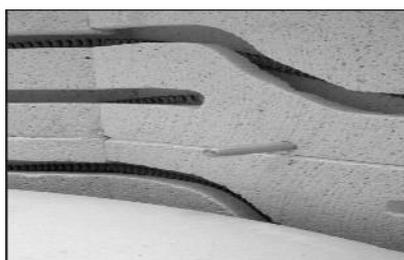
Fuente: <http://www.paragonweb.com/TNF82.cfm>

## 1.1.2. PARTES PRINCIPALES DEL HORNO

### a. LADRILLOS REFRACTARIOS DE HORNOS

En la **Figura 1.1**, se muestran los ladrillos refractarios aislantes que son de corte ligero, poroso, para encajar perfectamente y almacenar calor en las paredes, la parte inferior y la tapa. La chaqueta sostiene cómodamente los ladrillos juntos. Debido a que los ladrillos refractarios almacenan calor de manera eficiente, el costo de la electricidad para encender el horno es relativamente baja. El ladrillo refractario del horno es extremadamente frágil, por ese motivo siempre manejar el equipo con cuidado.

La temperatura requerida para la cerámica es superior a la del punto de fusión de la mayoría de los metales. Los ladrillos refractarios aislantes pueden expandirse y contraerse con cada activación de las resistencias eléctricas. Con el tiempo, van a aparecer grietas en el ladrillo, cuando el horno se encuentre frío. Esto es normal y no afectará la operación de su horno.

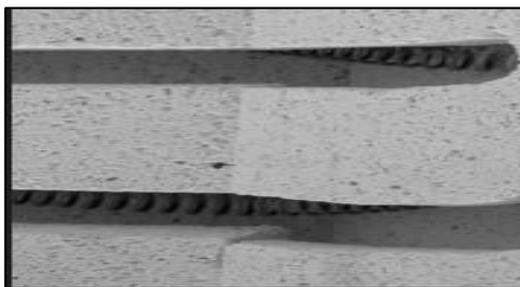


**Figura 1.1. Ladrillos refractarios de hornos.**

Fuente: <http://www.paragonweb.com/TNF82.cfm>

### b. ELEMENTOS DE CALEFACCIÓN

En la **Figura 1.2**, se observan los elementos de calefacción en el horno, son de alta resistencia para una larga vida útil. A altas temperaturas, los elementos del horno son bastante frágiles después de haber sido calentados a una temperatura elevada y se romperán si se doblan en frío. Al calentar a un débil resplandor con un soplete de propano, el elemento puede ser doblado de forma segura.



**Figura 1.2. Elementos de calefacción.**  
Fuente: <http://www.paragonweb.com/TNF82.cfm>

No permitir que el esmalte, vidrio, arena de sílice, u otros materiales extraños entren en contacto con los elementos entre ellos, ya que puede destruir el elemento cuando se enciende el horno.

### c. MIRILLAS

Las mirillas permiten que el oxígeno sea dibujado a la cámara del horno y sirven como un conducto de escape para el humo y el vapor de agua, ésta se muestra en la **Figura 1.3.**



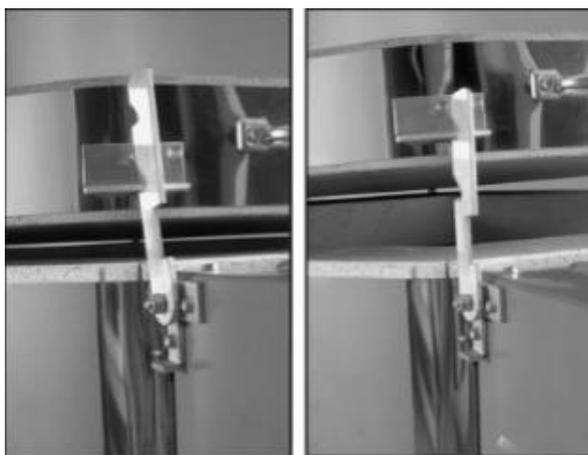
**Figura 1.3. Mirillas.**  
Fuente: <http://www.paragonweb.com/TNF82.cfm>

**Nota:** Al mirar a través de las mirillas, siempre use gafas de seguridad. Éstas protegen sus ojos del resplandor brillante de la cámara de cocción y que sea más fácil ver los conos a altas temperaturas. Tapones mirilla se utilizan para dejar que entre aire en el horno, no para evitar la pérdida de calor, y resulta beneficioso para tener un poco de aire entrando al horno en todo momento, por lo que no es necesario que los tapones

queden apretados. Puede dejar la mirilla (tapones) fuera para algunos disparos. Esto mejora la oxigenación en el interior el horno.

#### **d. VENTILACIÓN PROP “r”**

Las piezas cerámicas liberan gases y vapor de agua durante el tratamiento en el horno. La ventilación permite que estos gases se escapen. Prop-R-Vent está instalado en la caja de interruptores de la mayoría hornos de carga superior. El prop soporta la tapa abriéndola parcialmente durante el período de ventilación **Figura 1.4.**



**Figura 1.4. Ventilación prop “r”.**

Fuente: <http://www.paragonweb.com/TNF82.cfm>

## **1.2. TERMOPAR**

### **1.2.1. DEFINICIÓN**

Un termopar es un sensor de temperatura que consiste en dos conductores metálicos diferentes, unidos en un extremo, denominado junta caliente suministrando una señal de tensión eléctrica que depende directamente de la temperatura; este sensor puede ser conectado a un instrumento de medición de fuerza electromotriz o sea un milivoltímetro o potenciómetro.

### 1.2.2. FUNCIONAMIENTO

Un termopar consiste, básicamente, en un circuito cerrado formado por dos hilos de determinados y distintos metales unidos por sus respectivos extremos, en el cual aparece una pequeña corriente a partir de una diferencia de temperaturas en ambos extremos.

### 1.2.3. TERMOPARES TIPO K (CROMEL - ALUMEL)

Tienen gran aplicación en atmósferas oxidantes en las que se tiene un exceso de oxígeno libre. Estos termopares se pueden utilizar para medir temperaturas hasta de 1317°C (2400°F), pero son más satisfactorios a temperaturas hasta de 1150°C (2100°F.) para servicios continuos. Las atmósferas reductoras tienden a cambiar las características termoeléctricas de estos alambres y reducen su precisión.

### 1.2.4. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL TERMOPAR

A continuación se presentan el termopar tipo K con su intervalo de medida, rangos de error y de uso en la **Tabla 1.2**.

**Tabla 1.2. Características del Termopar tipo K según (Norma IEC-584-1982).**

TIPO	TERMOPAR	INTERVALO DE MEDIDA	ERROR MAX. (clase 1)	ERROR MAX. (clase 2)	ERROR MAX. (clase 3)	RANGO DE USO
K	Cromel (NiCr (+)) Alumel (Ni (-))	- 40 - 1.200 °C	± 1,5 °C ± 0,4 %	± 2,5°C ± 0,75 %	± 2,5°C ± 1,5 %	95 °C 1260 °C

Fuente: <http://www.guemisa.com/hrtemp/docus/sondas.pdf> [1]

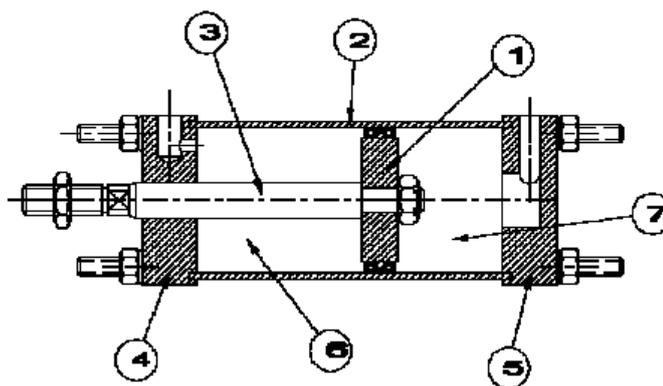
## 1.3. CILINDRO NEUMÁTICO

Los cilindros neumáticos son unidades que transforman la energía potencial del aire comprimido en energía cinética o en fuerzas prensoras. Básicamente consisten en un recipiente cilíndrico provisto de un émbolo o pistón. Al introducir un determinado

caudal de aire comprimido, éste se expande dentro de la cámara y provoca un desplazamiento lineal. Si se acopla al émbolo un vástago rígido, este mecanismo es capaz de empujar algún elemento, o simplemente sujetarlo. La fuerza de empuje es proporcional a la presión del aire y a la superficie del pistón. Los cilindros, los motores, y las turbinas son los tipos más comunes de dispositivos de impulsión usados en sistemas de potencia de fluidos.

Un cilindro neumático cuenta con las siguientes partes principales como se muestra en la **Figura 1.5**.

1. Émbolo.
2. Tubo cerrado.
3. Vástago.
4. Tapa delantera.
5. Tapa trasera.
6. Cámara positiva: Es la carrera de avance.
7. Cámara negativa: Es la que se encuentra en la carrera de retroceso.



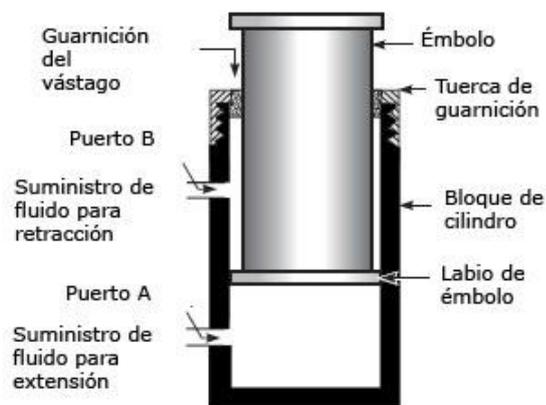
**Figura 1.5. Partes del Cilindro Neumático.**

Fuente: [http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica\\_hidraulica22.htm](http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica22.htm) [2]

### 1.3.1. CILINDROS DE DOBLE EFECTO

La fuerza ejercida por el aire comprimido anima al émbolo, en cilindros de doble efecto, a realizar un movimiento de traslación en los dos sentidos. Se dispone de una fuerza útil tanto en la ida como en el retorno.

Los cilindros de doble efecto se emplean especialmente en los casos en que el émbolo tiene que realizar una misión también al retornar a su posición inicial. En principio, la carrera de los cilindros no está limitada, pero hay que tener en cuenta el pandeo y doblado que puede sufrir el vástago salido. También en este caso, sirven de empaquetadura los labios y émbolos de las membranas. **Figura 1.6.**



**Figura 1.6. Cilindro émbolo de doble efecto.**

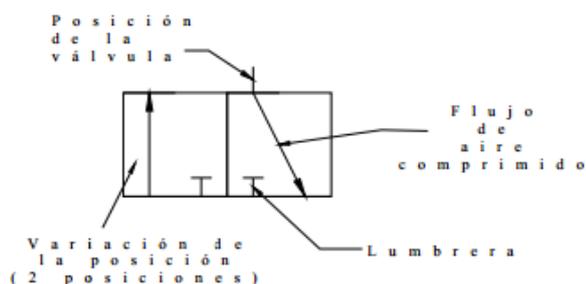
Fuente: [http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica\\_hidraulica22.htm](http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica22.htm) [2]

## 1.4. VÁLVULAS NEUMÁTICAS

Las válvulas neumáticas son dispositivos que regulan la presión, caudal y dirección del aire comprimido a través de los elementos neumáticos y tuberías (rígida o flexible), por otra parte actúan como amplificadores o reductores de la potencia neumática.

### 1.4.1. SIMBOLOGÍA

El símbolo de la válvula consta de un cuadrado en el que se señalan el número de lumbreras y los pasos del fluido, la variación de cada una de las posiciones se indica con un cuadro adyacente con los pasos correspondientes. La posición normal (no accionada) se indica con una línea fuera del cuadrado, y el paso del fluido se señala por medio de una flecha dentro del cuadrado como se ve en la **Figura 1.7**, a continuación.

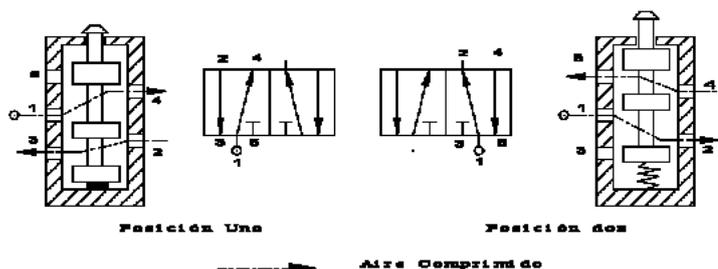


**Figura 1.7. Representación de una válvula neumática.**

Fuente: [http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1144/html/3\\_clculo\\_de\\_cilindros\\_fuerza\\_consumo\\_de\\_aire.html](http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1144/html/3_clculo_de_cilindros_fuerza_consumo_de_aire.html) [3]

#### 1.4.2. VÁLVULAS CINCO VÍAS Y DOS POSICIONES

En la **Figura 1.8**, se muestra una válvula de cinco vías y dos posiciones que consta de una lumbrera de entrada (1) y de dos salidas, una principal (2) y una secundaria (4), para ser utilizadas con dos escapes o descargas (3 y 5) respectivamente. En la posición uno, el aire pasa por 1 hacia 4, mientras que la lumbrera 2 está conectada con el escape 3. En la segunda posición, la lumbrera de entrada de aire 1 se conecta con 2, mientras 4 se conecta con el escape 5.

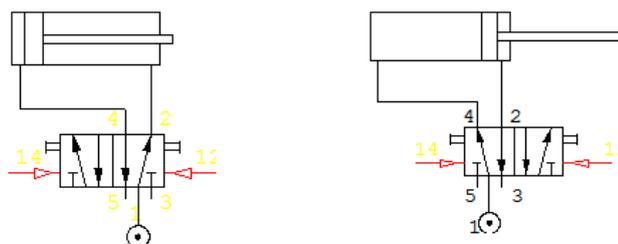


**Figura 1.8. Representación de Válvula Cinco Vías y Dos Posiciones.**

Fuente: [http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1144/html/3\\_clculo\\_de\\_cilindros\\_fuerza\\_consumo\\_de\\_aire.html](http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1144/html/3_clculo_de_cilindros_fuerza_consumo_de_aire.html) [3]

#### 1.4.3. CONTROL DEL AVANCE Y RETROCESO DE LOS ACTUADORES NEUMÁTICOS

El desplazamiento de un actuador, ya sea hacia adelante o hacia atrás se lleva a cabo a través de las válvulas de vías. En el caso de un actuador neumático de doble efecto será controlado por medio de una válvula 5/2. Y su accionamiento es variado en este caso se utiliza un mando eléctrico por relés.



**Figura 1.9. Control de avance y retroceso de un cilindro neumático de doble efecto.**

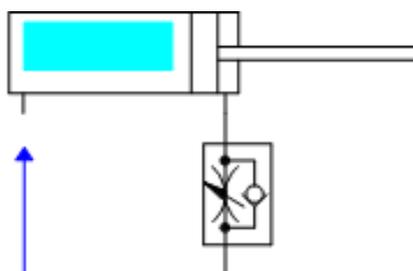
Fuente: Festo Actuadores Neumáticos D. Arce [4]

En la **Figura 1.9**, el gráfico de la izquierda se puede observar a la válvula 5/2 en su posición normal de reposo, el aire de suministro entra por el puerto No. 1 y cruza hasta el puerto No.2, el aire empuja al émbolo hacia atrás. En el gráfico de la derecha la válvula cambia de posición y ahora el aire de suministro sale por el puerto No.4 empujando al émbolo hacia adelante, mientras tanto el aire que estaba contenido en al otro lado de la cámara del actuador, sale desfogado por el puerto No. 3.

#### 1.4.4. REGULACIÓN DE VELOCIDAD DE LOS ACTUADORES NEUMÁTICOS

Una condición más que se les establece a los actuadores para su desplazamiento es la velocidad, esto es debido a que para algunas aplicaciones el actuador podría en lugar de desplazar, golpear la pieza o arrojarla al aire por la inercia que maneja. Es por esto la importancia de poder reducir su velocidad.

La regulación de velocidad de los actuadores es realmente sencilla, pero es necesario seleccionar los componentes adecuados para la optimización del sistema neumático como se muestra en la **Figura 1.10**.



**Figura 1.10. Esquema de una válvula reguladora de velocidad.**

Fuente: Festo Actuadores Neumáticos D. Arce [4]

Una válvula reguladora de caudal como se muestra en la **Figura 1.11**, es una restricción al paso de aire sin embargo, si se usa esta válvula para limitar el aire que entra hacia el actuador puede tener resultados que no son los deseados. El aire es compresible, por lo que al entrar lentamente a la cámara del actuador la presión se irá acumulando poco a poco, hasta que se alcance la presión necesaria para desplazar al émbolo, una vez que se ha conseguido esta presión mínima, el émbolo se mueve provocando un aumento en el volumen de la cámara que a su vez provoca que la presión caiga, deteniendo el avance del émbolo. Lo anterior se repite constantemente, dando un efecto escalonado en el desplazamiento. Aparte que no permite el control eficiente de la velocidad, una situación como la descrita, provoca el desgaste de los elementos suaves del émbolo.



**Figura 1.11. Válvula reguladora de caudal.**

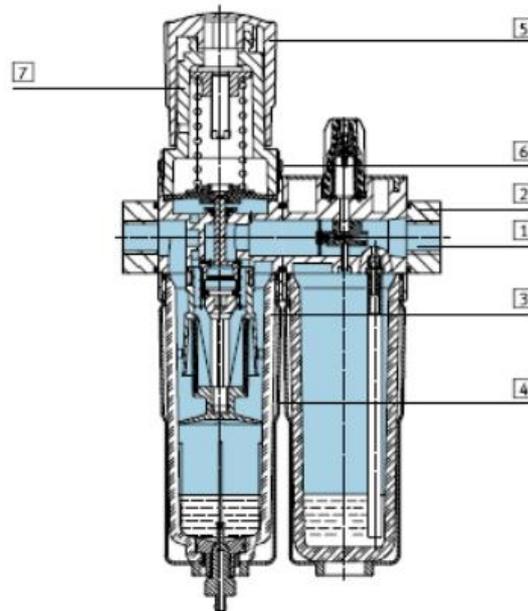
Fuente: Festo Actuadores Neumáticos D. Arce [4]

## 1.5. UNIDAD DE MANTENIMIENTO

Para la selección de la unidad de mantenimiento se tuvo en cuenta los siguientes parámetros:

- Tamaño: Micro
- Conexión neumática: M5
- Fluido: Aire comprimido
- Unidades de filtro y regulador
- Lubricador proporcional estándar
- Manómetro
- Posición: vertical
- Margen de regulación de presión: 0.5 a 7 bar
- Presión de entrada: 0 a 6 bar

En la siguiente **Figura 1.12**, se muestra la unidad de mantenimiento seleccionada.



**Figura 1.12. Vista en sección de una unidad de mantenimiento.**

Fuente: [http://e-ducactiva.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1144/html/3\\_clculo\\_de\\_cilindros\\_fuerza\\_consumo\\_de\\_aire.html](http://e-ducactiva.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1144/html/3_clculo_de_cilindros_fuerza_consumo_de_aire.html) [3]

## 1.6. TÉCNICAS DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS DEL ACERO

Los metales pueden ser tratados con calor para alterar las propiedades de resistencia, ductilidad, tenacidad, dureza y resistencia a la corrosión. Los procesos de tratamientos térmicos comunes y realizados en este proyecto son el temple, revenido y alivio de tensiones. A menudo, los tratamientos mecánicos y térmicos se combinan en lo que se conoce como tratamientos termomecánicos para mejorar las propiedades de maquinabilidad de los materiales. Estos procesos son comunes a los aceros de alta aleación especiales, superaleaciones y aleaciones de titanio. [5]

### 1.6.1. EL TEMPLE O TEMPLADO

Uno de los atributos del acero, el cual es con toda certeza el de mayor significado para los tratamientos térmicos es su capacidad para endurecerse. Este atributo tiene un doble significado, es importante no únicamente con relación a la obtención de un alto nivel de dureza o resistencia por tratamiento térmico, sino también con relación a la obtención de un alto grado de tenacidad por medio del tratamiento térmico, lograda a

partir de una microestructura deseable, generalmente martensita revenida o bainita inferior. Debe entenderse con claridad que el endurecimiento (hardenability) se refiere al “ancho de endurecimiento” que se puede lograr bajo ciertas condiciones de enfriamiento bien establecidas, y no a la dureza máxima que se puede obtener en un acero dado. La máxima dureza depende totalmente del contenido de carbono, mientras que el endurecimiento depende de factores como: el carbono, los elementos de aleación, y del tamaño de grano de la austenita. [6]

#### a. TEMPLE DEL ACERO AISI 4340 UTILIZADO PARA EL PROYECTO

Con enfriamiento en aceite: El mantenimiento del tiempo en minutos cuando la superficie ha alcanzado la temperatura de temple es 0.7 por espesor o diámetro en milímetros. Interrumpir el enfriamiento a los 125°C y luego revenir inmediatamente.

#### b. TEMPLE DEL ACERO AISI 01 (DF2) UTILIZADO PARA EL PROYECTO

En la **Tabla 1.3**, se muestran temperaturas y tiempos de mantenimiento para realizar el temple con sus respectivas durezas obtenidas luego del templado.

- Temperatura de precalentamiento: 600–700°C
- Temperatura de austenización: 790–850°C
- Tiempo de mantenimiento = tiempo a la temperatura de temple después de que la herramienta está plenamente calentada en toda su masa.

**Tabla 1.3. Tiempos para el temple del DF2 (AISI 01).**

Temperatura °C	Temperatura de mantenimiento en minutos	Dureza antes del revenido HRC
800	30	Aprox. 65
825	20	Aprox. 65
850	15	Aprox. 63

Fuente: IVAN BOHMAN C.A. [7]

### **c. EL REVENIDO DEL ACERO**

El acero en el estado endurecido carece de aplicación práctica debido a su condición de fragilidad, que surge por la formación de la martensita que trae grandes esfuerzos internos; por ello, es necesario hacer un relevado de esfuerzos a fin de eliminar en cierta medida dichos esfuerzos. Por esta razón, el revenido tiene como finalidad liberar los esfuerzos internos, mejorando la ductilidad y la tenacidad del acero, pero sin que su propósito sea eliminar la dureza obtenida por el templado. [8]

### **d. REVENIDO DEL ACERO AISI 4340 UTILIZADO PARA EL PROYECTO**

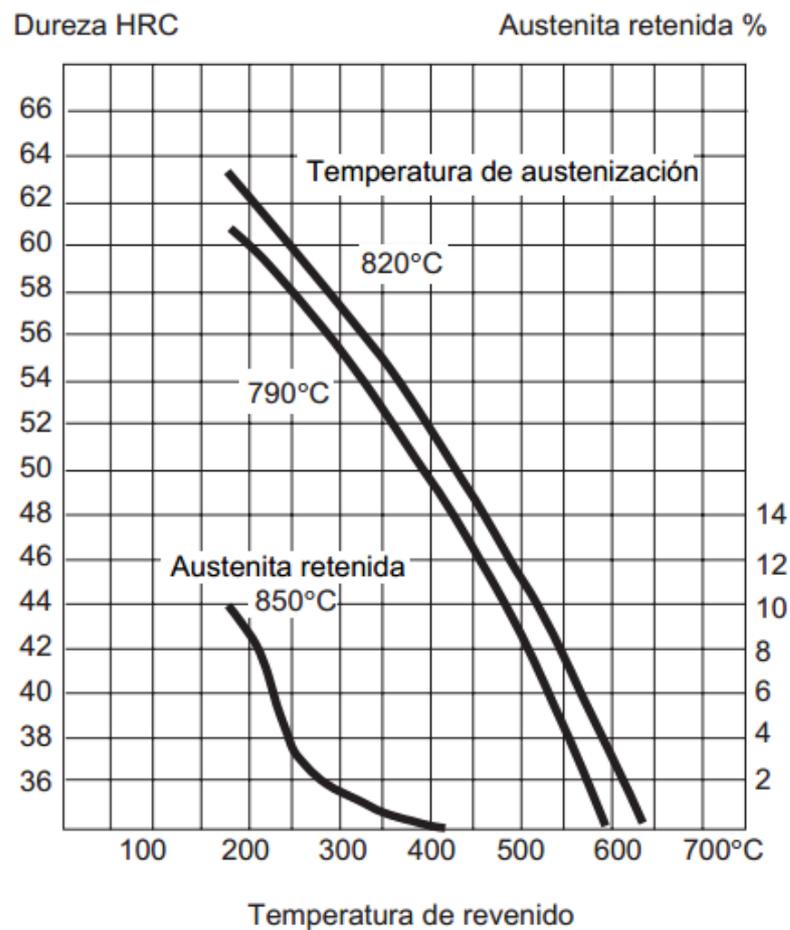
El tiempo de mantenimiento a la temperatura de revenido podría ser 1-2 horas o una hora por pulgada de grueso. Partes de máquinas que requieran una resistencia alta, como por ejemplo engranajes que deberán ser revenidos a temperatura más bajas, es decir de 200 a 250 °C, lo que dará una dureza de aproximadamente 500HB.

### **e. REVENIDO DEL ACERO AISI 01 (DF2) UTILIZADO PARA EL PROYECTO**

Revenir dos veces con enfriamiento intermedio a la temperatura ambiental. Mínima temperatura de revenido 180°C. Tiempo mínimo de mantenimiento de temperatura, 2 horas.

Como se muestra en la **Figura 1.13**, las temperaturas a las que se le somete al acero AISI 01 (DF2) para proporcionarle un revenido con diferente valor de dureza Rockwell en la que se puede destacar que mientras se le somete a la probeta a mas temperatura de revenido menor dureza se va a alcanzar, lo que dependerá de la necesidad y el tipo de trabajo a la que va a ser sometida la probeta para brindarle el tratamiento térmico de revenido.

### Gráfico de revenido



**Figura 1.13. Temperaturas a las que se somete un acero AISI 01 para revenirlo y obtener diferentes durezas.**

Fuente: IVAN BOHMAN C.A. [7]

#### f. ALIVIO DE TENSIONES DEL ACERO AISI 4340 UTILIZADO PARA EL PROYECTO

El acero templado tenaz deberá ser calentado hasta aproximadamente 50°C por debajo de la temperatura usada para el revenido (como standard el 705 es suministro revenido a 600°C).

Mantenerlo a esta temperatura durante 1/2 a 2 horas. Enfriar en el horno hasta los 450°C y luego libremente al aire.

### g. ALIVIO DE TENSIONES DEL ACERO AISI 01 (DF2) UTILIZADO PARA EL PROYECTO

Después del desbastado en máquina, debe calentarse la herramienta en toda su masa a 650°C, tiempo de mantenimiento 2 horas. Enfriar lentamente hasta 500°C y después libremente al aire.

### 1.6.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS ACEROS Y TRATAMIENTOS USADOS EN EL PROYECTO

#### a. CARACTERÍSTICAS DEL ACERO AISI 4340

El acero 705 o AISI 4340 es un acero al molibdeno más cromo y níquel. El molibdeno tiene una solubilidad limitada y es un buen formador de carburos. Ejerce un fuerte efecto sobre la templabilidad y de manera semejante al cromo, aumenta la dureza y resistencia a alta temperatura de los aceros. Las propiedades químicas, mecánicas y equivalencias se pueden ver en las **Tablas 1.4, Tabla 1.5** y **Tabla 1.6**.

**Tabla 1.4. Propiedades químicas del acero AISI 4340.**

ANÁLISIS TÍPICO %								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
<b>705</b>	0.36	0.25	0.70			1.40	1.40	0.20
<b>AISI</b>	0.35-	0.20-	0.60-	0.04	<0.040	1.65-	0.70-	0.20-
<b>4340</b>	0.40	0.35	0.80			2.00	0.90	0.30

Fuente: IVAN BOHMAN C.A. [7]

**Tabla 1.5. Normas de equivalencia del acero AISI 4340.**

EQUIVALENCIAS	
<b>AISI/SAE</b>	4340
<b>DIN</b>	34CrNiMo6
<b>W.Nr</b>	16.582
<b>JIS</b>	SNM1
<b>AFNOR</b>	35NCD6

Fuente: IVAN BOHMAN C.A. [7]

**Tabla 1.6. Propiedades mecánicas del acero AISI 4340.**

<b>PROPIEDADES MECÁNICAS EN CONDICIÓN DE SUMINISTRO</b>	
<b>Resistencia a la Tracción</b>	90-110kg/mm <sup>2</sup> (1078.73 MPa)
<b>Esfuerzo de cadena</b>	70kg/mm <sup>2</sup> (686.46 MPa)
<b>Resistencia al Impacto</b>	Aprox .20J
<b>Elongación, A5</b>	min 12%
<b>Reducción de Área Z</b>	min 45%
<b>Dureza</b>	270-330HB (318 Vickers)

Fuente: IVAN BOHMAN C.A. [7]

#### **b. CARACTERÍSTICAS DEL ACERO AISI 01 (DF2)**

Acero de alto carbono con adecuada resistencia al desgaste, presenta distorsión dimensional media tras el tratamiento térmico. Dureza típica de uso 57 - 62 HRC, medio susceptible a la decarburización, con buena maquinabilidad, con resistencia baja al desgaste y de baja tenacidad. Las propiedades químicas, mecánicas y equivalencias se pueden ver en las **Tablas 1.7, Tabla 1.8 y Tabla 1.9.**

<b>Normas involucradas:</b>	ASTM A681
<b>Propiedades mecánicas:</b>	Maquinabilidad 90% (100 %=B1112)
<b>Propiedades físicas:</b>	Densidad 7.83 g/cm <sup>3</sup> (0.283 lb/in <sup>3</sup> )

**Tabla 1.7. Propiedades químicas del acero AISI 01 (DF2).**

0.85 — 1.00 % C
0.40 — 0.60 % Cr
1.00 — 1.40 % Mn
0.40 — 0.60 % W
0.30 % V máx
0.50 % Si máx
0.030 % P máx
0.030 % S máx

Fuente: IVAN BOHMAN C.A. [7]

**Tabla 1.8. Normas de equivalencia del acero AISI 01.**

EQUIVALENCIAS	
<b>AISI/SAE</b>	01
<b>DIN</b>	100MnCrW4
<b>W.Nr</b>	1.2510
<b>UNE</b>	F-5220
<b>JIS</b>	SKS 3
<b>UDDEHOLM</b>	ARNE

Fuente: IVAN BOHMAN C.A. [7]

**Tabla 1.9. Propiedades mecánicas del acero AISI 01.**

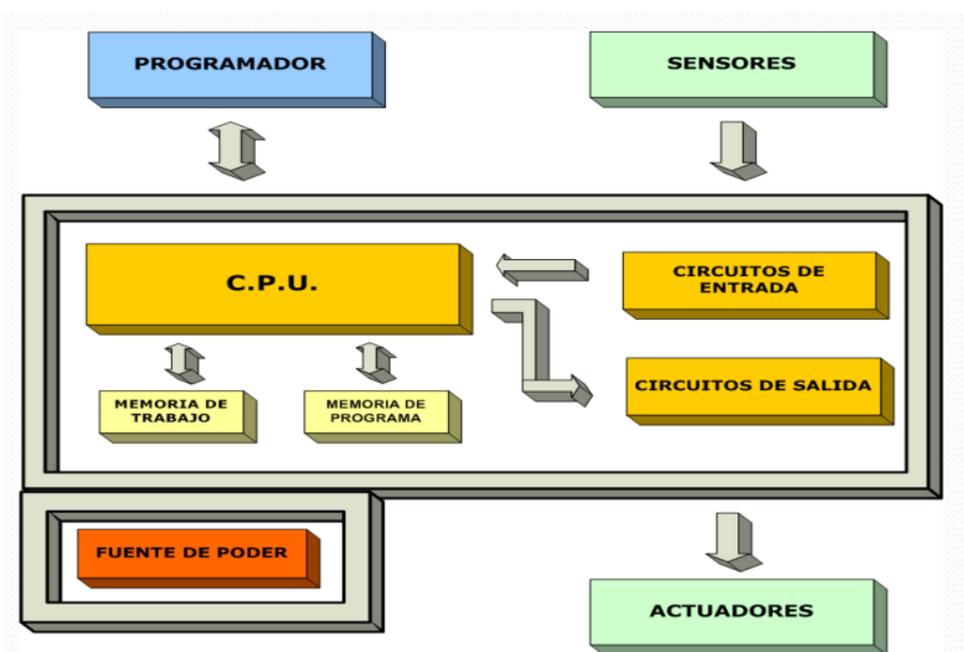
PROPIEDADES MECÁNICAS EN CONDICIÓN DE SUMINISTRO		
<b>Módulo de Elasticidad</b>	30psi x 10 <sup>6</sup> (207 GPa)	
<b>Densidad</b>	7850 Kg/m <sup>3</sup>	(0.283 lb/in <sup>3</sup> )
<b>Resistencia al impacto</b>	30 ft.-lb. (41 J)	
<b>Dureza</b>	60-65 HRC	
Conductividad Térmica		
	BTU/hr-ft-°F	W/m°K
<b>A 95°C (200°F)</b>	20	34.5

Fuente: IVAN BOHMAN C.A. [7]

## 1.7. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

El PLC es un instrumento electrónico que sirve de herramienta para dar solución a problemas de automatización. Los PLC actuales pueden comunicarse con otros controladores y computadoras en redes de área local, y son una parte fundamental de los modernos sistemas de control distribuido. Entre las ventajas del uso de los PLC's se tiene: menor tiempo de elaboración de proyectos, posibilidad de añadir modificaciones sin costo añadido en otros componentes, mínimo espacio de ocupación, menor costo de mano de obra, mantenimiento económico, posibilidad de gobernar varias máquinas con el mismo autómatas, menor tiempo de puesta en funcionamiento, si el autómatas queda pequeño para el proceso industrial puede seguir siendo de utilidad en otras máquinas o sistemas de producción.

Dentro de las funciones que un PLC puede cumplir se encuentran operaciones como las de detección y de mando, en las que se elaboran y envían datos de acción a los preaccionadores y accionadores. Además cumplen la importante función de programación, pudiendo introducir, crear y modificar las aplicaciones del programa. En la **Figura 1.14**, se muestra la estructura básica de un PLC.



**Figura 1.14. Estructura Básica de un PLC.**

Fuente: <http://automatica.mex.tl/imagesnew/5/0/1/4/2/Presentaci%C3%B3n%20P.L.C...pdf> [9]

### 1.7.1. PLC SIMATIC S7-1200

En la **Figura 1.15**, se muestra el controlador SIMATIC S7-1200 es modular, compacto y de aplicación versátil: una inversión segura, idónea para una completa gama de elementos tecnológicos potentes e integrados hacen de este controlador un componente clave en soluciones completas de automatización. La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos de entrada y salida, PROFINET integrado, E/S de control de movimiento de alta velocidad y entradas analógicas incorporadas, todo ello en una carcasa compacta, conformando así un potente controlador.



**Figura 1.15. PLC Siemens S7-1200 1212C AC/DC/RLY.**

Fuente: Siemens simatic S7-1200 [10]

Características:

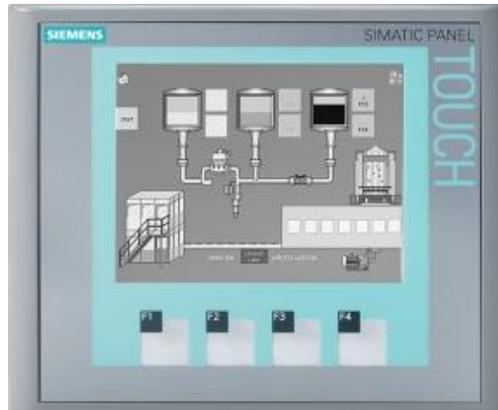
- Alta capacidad de procesamiento. Cálculo de 64 bits
- Interfaz Ethernet / PROFINET integrado
- Entradas analógicas integradas
- Bloques de función para control de ejes conforme al PLC
- Programación mediante la herramienta de software TIA Portal V12 para la configuración y programación no sólo del S7-1200, sino también de la pantalla HMI.

## 1.8. PANTALLA TOUCH SCREEN HMI

HMI significa “Human Machine Interface”, es decir la interfaz hombre máquina es el dispositivo o sistema que permite una interacción amigable entre el operador y la máquina. Tradicionalmente estos sistemas consistían en paneles compuestos por indicadores y comandos, tales como luces pilotos, indicadores digitales y análogos, registradores, pulsadores, selectores y otros que se interconectaban con la máquina o proceso.

En la actualidad, dado que las máquinas y procesos en general están implementadas con controladores y otros dispositivos electrónicos que dejan disponibles puertas de comunicación, es posible contar con sistemas de HMI bastantes más poderosos y eficaces, además de permitir una conexión más sencilla y económica con el proceso o máquinas.

Una terminal de operador consistente en un dispositivo, generalmente construido para ser instalado en ambientes agresivos, donde pueden ser solamente de despliegues numéricos, o alfanuméricos o gráficos. Pueden ser además con pantalla sensible al tacto (touch screen) como se muestra en la **Figura 1.16**.



**Figura 1.16. Pantalla HMI Siemens.**

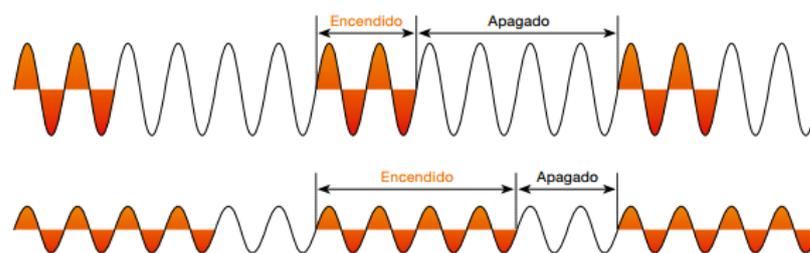
Fuente: Siemens simatic S7-1200 [10]

## 1.9. ENCENDIDO POR CICLO RÁPIDO

En la **Figura 1.17** y **Figura 1.18**, se muestra un caso específico del comportamiento y funcionamiento de los tiristores (SCR) respectivamente, se activan al comienzo de un ciclo de la red de alimentación y permanecen conductivos durante uno o más ciclos completos antes de apagarse. Esta operación se repite continuamente, y de esta forma se limita la entrada efectiva de corriente a los elementos. Se debe instalar un control manual que permita variar la proporción de encendido/apagado y así compensar el aumento gradual de la resistencia de los elementos. Aunque la potencia de alimentación media de los elementos pueda estar dentro de los límites recomendados para la puesta en marcha, temperatura y atmósfera, cada ciclo completo de la tensión de la red de alimentación puede provocar cargas equivalentes a varias veces dicho valor recomendado, y esto conduciría a un aumento rápido del valor de la resistencia de los elementos y averías prematuras. Por esta razón, es necesario conectar los elementos de forma que la carga de los mismos durante un ciclo completo de la tensión de alimentación no supere los  $15 \text{ W/cm}^2$ . Para minimizar este efecto de expansión durante el tiempo de activación, el período de tiempo base del ciclo de encendido deberá ser tan breve como sea posible y preferiblemente de menos de 30

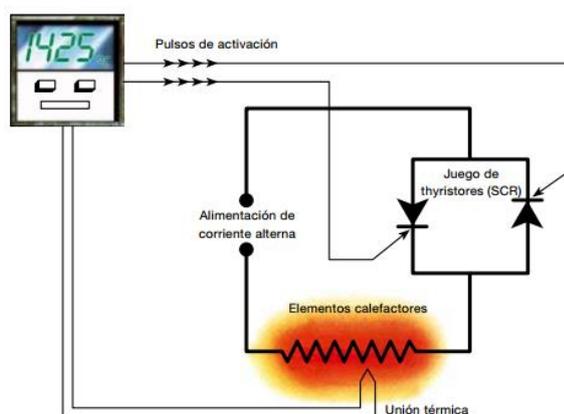
ciclos de alimentación a 50 Hz (es decir, 50% potencia = 15 ciclos “encendido” + 15 ciclos “apagado”). Los tiristores (SCR) de ciclo lento suelen tener ciclos de tiempo de varios segundos y no son adecuados para un control directo de elementos de carburo de silicio. No obstante, se pueden utilizar en el circuito secundario de los transformadores de medida, en lugar de los conectores electromecánicos convencionales.

El tipo ideal de tiristores (SCR) activados por efecto expansión de la potencia son los del tipo de ciclo único activados por el efecto expansión de la potencia. En este tipo de tiristores (SCR), la potencia de salida necesaria para su activación se alcanza en el menor número posible de ciclos completos (es decir 50 % potencia = 1 ciclo “encendido” + 1 ciclo “apagado”). La tensión que se necesita para los tiristores (SCR) será la misma o superior a la tensión de alimentación, pero el calibrado de la intensidad de corriente de la unidad se deberá determinar dividiendo la tensión de alimentación RMS entre la resistencia mínima de la instalación.



**Figura 1.17. Comportamiento de los tiristores.**

Fuente: Kanthal GLOBAL SD. Datos Técnicos. [11]



**Figura 1.18. Funcionamiento de los tiristores.**

Fuente: [http://www2.kanthal.com/C12570A7004E2D46/062CC3B124D69A8EC1256988002A3D76/DDE6A857C0FA1F78C12570C20051578C/\\$file/10-B-2-5%20globar%20SD%20ES.pdf?OpenElement](http://www2.kanthal.com/C12570A7004E2D46/062CC3B124D69A8EC1256988002A3D76/DDE6A857C0FA1F78C12570C20051578C/$file/10-B-2-5%20globar%20SD%20ES.pdf?OpenElement) [11]

## 1.10. RELÉ DE ESTADO SÓLIDO

En la **Figura 1.19**, se muestra el relé de estado sólido o SSR por sus siglas en inglés: Solid State Relay, son dispositivos ampliamente utilizados en la conmutación de cargas resistivas con señales de control en DC o AC.

Como su nombre lo indica los Relés de Estado Sólido, utilizan componentes de estado sólido o semiconductores como los TRIACS y los SCRS, a diferencia de los relés electromagnéticos y contactores convencionales que en su construcción emplean bobinas y elementos mecánicos para realizar la conmutación.



**Figura 1.19. Relé de estado sólido o SSR.**

Fuente: ELECTRICAS BC [12]

### 1.10.1. VENTAJAS DE UTILIZAR LOS RELÉS DE ESTADO SÓLIDO

Las ventajas más importantes de los relés de estado sólido son:

- Altas frecuencias de operación (son más rápidos).
- Su construcción sellada herméticamente los hace más resistentes a las condiciones ambientales.
- Son inmunes a choques y vibraciones.
- Los Relés de Estado Sólido no sufren de desgaste mecánico ya que no usan partes móviles.
- Son robustos, silenciosos, livianos y confiables.
- Pueden conmutar altas corrientes y voltajes sin producir arcos o ionizar el aire circundante.
- Generan muy poca interferencia.

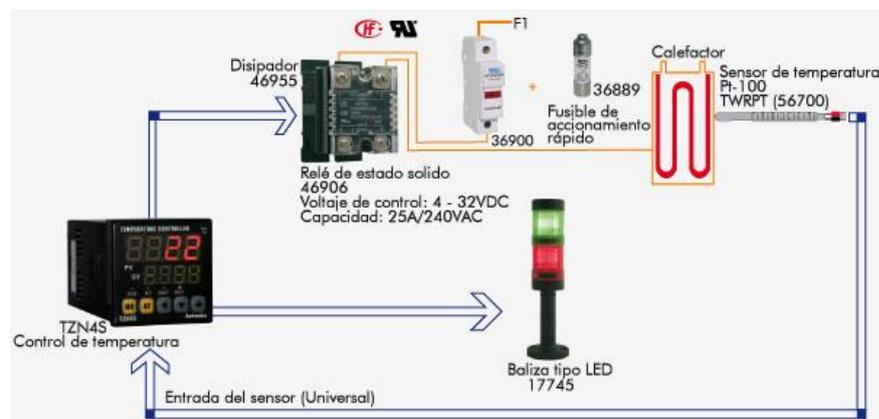
- Manejan aislamientos del orden de kilovatios entre la entrada y la salida.

### 1.10.2. APLICACIONES TÍPICAS

**Relés de estado sólido monofásicos:** Equipo de moldeo, maquinaria de empaque, control numérico CNC, equipo de control digital, incubadoras, control de iluminación, aire acondicionado, entre otros.

**Relés de estado sólido trifásicos:** Maquinaria de empaque, hornos de alta potencia, túneles de termoencogido.

En la **Figura 1.20**, se muestra el funcionamiento del relé de estado sólido.



**Figura 1.20. Funcionamiento del relé de estado sólido.**

Fuente: ELECTRICAS BC [12]

### 1.10.3. CONSIDERACIONES ESPECIALES

Para proteger los relés de estado sólido y prolongar su vida útil, en el diseño del montaje se debe incluir un fusible de accionamiento rápido y un disipador de calor.

## 1.11. PRUEBAS PARA PROPIEDADES MECÁNICAS

### 1.11.1. DUREZA

Es difícil definir la propiedad de "dureza", excepto en relación con la prueba empleada en particular para determinar su valor. Debe tenerse en cuenta que un

número o valor de dureza no puede utilizarse directamente en trabajos de diseño, como se puede hacer con un valor de resistencia a la tensión, ya que los números de dureza no tienen significado intrínseco. La dureza no es una propiedad fundamental de un material, sino que está relacionada con las propiedades elásticas y plásticas. El valor de dureza obtenido en una prueba determinada sirve sólo como comparación entre materiales o tratamientos. El procedimiento de prueba y la preparación de la muestra suelen ser sencillos y los resultados pueden utilizarse para estimar otras propiedades mecánicas. La prueba de dureza se utiliza ampliamente para inspección y control. El tratamiento térmico o el trabajo efectuado en una pieza metálica resultan generalmente en un cambio de dureza. Cuando se establece el valor resultante de la dureza de un tratamiento térmico a un material dado por un proceso determinado, esa estimación proporcionará un método rápido y sencillo (de inspección y control) para el material y proceso particulares.

Las diversas pruebas de dureza se dividen en tres categorías:

- Dureza elástica
- Resistencia al corte o abrasión, y
- Resistencia a la indentación.

#### **a. RESISTENCIA A LA INDENTACIÓN**

Esta prueba generalmente es realizada imprimiendo en la muestra, la que está en reposo sobre una plataforma rígida, un marcador o indentador de geometría determinada, bajo una carga estática conocida que se aplique directamente o por medio de un sistema de palanca. Dependiendo del sistema de prueba, la dureza se expresa por un número inversamente proporcional a la profundidad de la indentación para una carga y marcador especificados, o proporcionales a una carga media sobre el área de mella. Los métodos comunes para pruebas de dureza por indentación son dos.

- Prueba o ensayo de dureza Brinell
- Prueba o ensayo de dureza Rockwell

## b. PRUEBA O ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL

En ésta prueba de dureza se utiliza un instrumento de lectura directa basado en el principio de medición de profundidad diferencial, ver **Figura 1.21**. La prueba se lleva a cabo al elevar la muestra lentamente contra el marcador hasta que se ha aplicado una carga determinada menor. Esto se indica en el disco medidor. Luego se aplica la carga mayor a través de un sistema de palanca de carga. Después de que la aguja del disco llega al reposo, se quita la carga mayor y, con la carga menor todavía en acción, el número de dureza Rockwell es leído en el disco medidor. Como el orden de los números se invierte en el disco medidor, una impresión poco profunda en un material duro dará un número grande en tanto que una impresión profunda en un material blando dará un número pequeño. Hay dos máquinas Rockwell: el probador normal para secciones relativamente gruesas y el probador superficial para secciones delgadas.



**Figura 1.21. Durómetro Rockwell.**

Fuente: Introducción a la Metalurgia Física Sydney h. Avner pag. 38-45

La carga menor es de 10 kg en el probador normal y de 3 kg en el probador superficial, Pueden utilizarse diversos marcadores de muescas y cargas y cada combinación determina una escala Rockwell específica. Los marcadores de muescas incluyen bolas de acero duras de 1/16, 1/8, 1/4 y 1/2 de pulgada de diámetro y un marcador cónico de diamante. Generalmente las cargas mayores son de 60, 100 y 150 kg en el probador normal y de 15, 30 y 45 kg en el probador superficial. Las escalas Rockwell empleadas más comúnmente son la B (marcador de bola de 1/16 de pulg y 100 kg de carga) y la C (marcador de diamante y 150 kg de carga), ambas obtenidas con el probador normal. Debido a las muchas escalas Rockwell, el número de dureza debe especificarse mediante el símbolo HR seguido de la letra que designa la escala y

precedido de los números de dureza; por ejemplo, 82 HRB significa una dureza de Rockwell de 82 medida en la escala B (bola de 1/16 de pulg y 100 kg de carga). En la **Tabla 1.10**, aparecen las escalas de dureza Rockwell y algunas aplicaciones típicas. El funcionamiento de la máquina debe ser verificado frecuentemente con bloques de prueba estándar proporcionados por el fabricante. La manija de operación debe regresarse suavemente a su posición inicial; golpear la manija para quitar la carga mayor puede producir un error de varios puntos en el disco de indicación. Se debe tener cuidado de asentar firmemente el yunque y el marcador. Cualquier movimiento vertical en estos puntos resulta en un registro de una profundidad adicional en el medidor y, por tanto, en una lectura de dureza falsa.

**Tabla 1.10. Escala de durezas Rockwell.**

<i>Escala</i>	<i>Carga mayor kg</i>	<i>Tipo de marcador de muescas</i>	<i>Materiales típicos probados</i>
A	60	Cono de diamante	Materiales duros en extremo, carburos de tungsteno, etc.
B	100	Bola de 1/16"	Materiales de dureza media, aceros al carbono bajos y medios, latón, bronce etc.
C	150	Cono de diamante	Aceros endurecidos, aleaciones endurecidas y revenidas (tratadas)
D	100	Cono de diamante	Acero superficialmente cementado
E	100	Bola de 1/8"	Hierro fundido, aleaciones de aluminio y magnesio
F	60	Bola de 1/16"	Bronce y cobre recocidos
G	150	Bola de 1/16"	Cobre al berilio, bronce fosfórico, etc.
H	60	Bola de 1/8"	Placa de aluminio
K	150	Bola de 1/8"	Hierro fundido, aleaciones de aluminio
L	60	Bola de 1/4"	Plásticos y metales suaves, como el plomo
M	100	Bola de 1/4"	Igual que la escala L
P	150	Bola de 1/4"	Igual que la escala L
R	60	Bola de 1/2"	Igual que la escala L
S	100	Bola de 1/2"	Igual que la escala L
V	150	Bola de 1/2"	Igual que la escala L

Fuente: Fuente: Introducción a la Metalurgia Física Sydney h. Avner pag. 38-45

## CAPÍTULO 2

### 2. ANÁLISIS Y DISEÑO

#### 2.1. ANÁLISIS TÉRMICO

##### 2.1.1. PÉRDIDAS DE CALOR POR LAS PAREDES

Los aislamientos utilizados en hornos industriales pueden adoptar la forma de pared plana en el cuerpo del horno, de pared cilíndrica en tuberías y de pantallas de radiación en hornos de vacío.

**Pared plana:** La transmisión de calor a través de un material es un fenómeno de transporte complejo, debido a que al ser un sólido poroso intervienen en él, en mayor o menor grado, los dos mecanismos de transmisión de calor son conducción y convección.

La **Figura 2.1**, muestra una pared plana de área  $A$  y espesor  $L$ , cuya cara en  $x = 0$  se mantiene a la temperatura  $T_1$  mientras que el lado en  $x = L$  se mantiene a  $T_2$  ( $T_1 > T_2$ ) El flujo de calor  $Q$  (J/s) a través de la pared se efectúa en la dirección de la disminución de la temperatura. La ley de Fourier establece que, la densidad de flujo de calor,  $q$ , (Cantidad de calor que atraviesa la unidad de superficie en la unidad de tiempo,  $[W/m^2]$ ,) viene dada por:

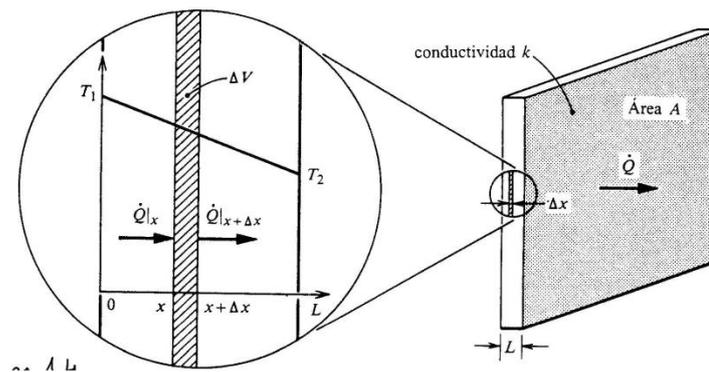
$$\frac{Q}{A} = q = -k \frac{dT}{dx} \quad Ec2.1$$

Dónde:

$T$  = Temperatura local  $[K \text{ o } ^\circ C]$

$x$  = Coordenada en la dirección del flujo  $[m]$

$k$  = La conductividad térmica de la sustancia  $[W / m.^{\circ}C]$



**Figura 2.1. Conducción Unidimensional estacionaria a través de una pared plana.**

Fuente: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion2.HornosResistencia.PERDIDAS.CALOR.pdf> [13]

La conductividad térmica es un parámetro que depende del tipo de material (depende de su estructura microscópica) y de la temperatura, representa la cantidad de calor conducido por unidad de tiempo a través de la unidad de área (Perpendicular a la dirección del transporte de calor) cuando el gradiente de temperatura a través del elemento conductor del calor es la unidad.

### 2.1.2. ANÁLISIS DE PÉRDIDAS DE CALOR POR CONDUCCIÓN Y CONVECCIÓN DE UN HORNO OCTOGONAL PARA TRATAMIENTO TÉRMICO

#### a. ÁREA TOTAL DE UNA PLANCHA DE LADRILLO REFRACTARIO (DOS SEGMENTOS)

$$A_{TLadrillo} = A_1 + A_2 \quad Ec2.2$$

Dónde:

$$A_1 = \text{Área del segmento uno del ladrillo refractario} [m^2]$$

$$A_2 = \text{Área del segmento dos del ladrillo refractario} [m^2]$$

$$A_{TLadrillo} = (b * h)_1 + (b * h)_2 \quad Ec2.3$$

Dónde:

$$b = \text{Base del triángulo} [m]$$

$$h = \text{Altura del triángulo} [m]$$

$$A_{TLadrillo} = (0.185m * 0.57m) + (0.0225m * 0.57m)$$

$$A_{TLadrillo} = 0.118m^2$$

**b. ÁREA TOTAL DE UNA PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE (UN SEGMENTO)**

$$A_{TAinoxidable} = A_1$$

Deduciendo de la Ec2.2 el área uno tenemos

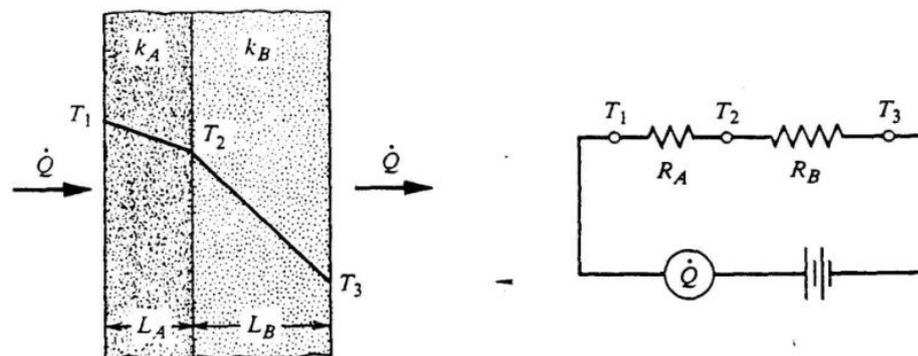
$$A_{TAinoxidable} = (b * h)_1 \tag{Ec2.4}$$

$$A_{TAinoxidable} = (0.235m * 0.63m)$$

$$A_{TPAinoxidable} = 0.148m^2$$

**2.1.3. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN DOS PAREDES PLANAS EN SERIE**

Si tenemos una pared compuesta por dos placas de material, como se muestra en la **Figura 2.2**, el flujo de calor a través de cada placa es igual:



**Figura 2.2. Distribución de temperaturas para conducción estacionaria a través de una pared plana compuesta y el circuito térmico correspondiente.**

Fuente: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion2.HornosResistencia.PERDIDAS.CALOR.pdf> [13]

$$Q = \frac{T_1 - T_3}{\left(\frac{L}{KA}\right)_A + \left(\frac{L}{KA}\right)_B} \tag{Ec2.5}$$

Dónde:

$$Q = \text{Taza de flujo calorífico [Kw]}$$

$L$  = Espesor de la pared plana  $[m]$

$K$  = Coeficiente de conductividad térmica del material  $\left[\frac{w}{m^{\circ}C}\right]$

$A$  = Área de la pared plana  $[m^2]$

$T_1 - T_3 = \Delta T$  = Potencial térmico  $[^{\circ}C]$

$\left(\frac{L}{KA}\right) = R$  = Resistencia térmica por conducción  $\left[\frac{^{\circ}C}{w}\right]$

Usando la ecuación anterior Ec2.10 reemplazamos los parámetros de área de las planchas.

$$Q = \frac{T_1 - T_3}{\left(\frac{L}{K(b.h)}\right)_A + \left(\frac{L}{K(b.h)}\right)_B} \quad \text{Ec2.6}$$

$$Q = \frac{850^{\circ}C - 150^{\circ}C}{\left(\frac{0.065m}{0.95 \frac{w}{m^{\circ}C} (0.118m^2)}\right)_A + \left(\frac{5 * 10^{-4}m}{16.3 \frac{w}{m^{\circ}C} (0.148m^2)}\right)_A}$$

$$Q = \frac{700}{0.579 + 2.071 * 10^{-4}}$$

$$Q = \frac{700}{0.580}$$

$$Q = 1206.9w$$

Éste valor es la potencia total de la taza calorífica que se encuentra a través del ladrillo refractario y el acero inoxidable en una pared del cilindro octogonal del horno. Dicho valor está respaldado por el análisis en software de diseño el cual se puede apreciar más adelante.

**Calor total transferido por las dos resistencias térmicas del horno (considerando ocho paredes planas):**

$$Q_T = Q * 8 \quad \text{Ec2.7}$$

$$Q_{Tp} = 9655.2w$$

**Resistencia térmica de conducción del ladrillo refractario:**

$$R_{Acond} = \left( \frac{L}{kA} \right)_A \quad Ec2.8$$

Dónde:

$L$  = Espesor de la pared plana  $[m]$

$K$  = Coeficiente de conductividad térmica del material  $\left[ \frac{w}{m^{\circ}C} \right]$

$A$  = Área de la pared plana  $[m^2]$

$$R_{Acond} = \frac{0.065m}{0.95 \frac{w}{m^{\circ}C} (0.118m^2)}$$

$$R_{Acond} = 0.579 \frac{^{\circ}C}{w}$$

Usando la *Ec2.8* encontraremos la resistencia térmica de conducción del acero inoxidable:

$$R_{Bcond} = \left( \frac{L}{kA} \right)_B \quad Ec2.9$$

$$R_{Acond} = \frac{5 * 10^{-4}m}{16.3 \frac{w}{m^{\circ}C} (0.148m^2)}$$

$$R_{Bcond} = 2.071 * 10^{-4} \frac{^{\circ}C}{w}$$

#### 2.1.4. CONDUCCIÓN TÉRMICA A TRAVÉS DE PAREDES PLANAS EN SERIE

En estado estacionario el flujo de calor a través de todas las secciones debe ser el mismo. Sin embargo, los gradientes son distintos:

$$q = \left( \frac{kA}{L} \right)_A (T_1 - T_2) = \left( \frac{kA}{L} \right)_B (T_2 - T_3) \quad Ec2.10$$

**Cálculo de temperatura  $T_2$ :**

$$T_2 = q \left( \frac{L}{Ak} \right)_B + T_3 \quad Ec2.11$$

Dónde:

$T_2$  = Temperatura entre las el ladrillo refractario y el acero inoxidable [ $^{\circ}C$ ]

$T_3$  = Temperatura de la pared de acero inoxidable [ $^{\circ}C$ ]

$q$  = Taza de flujo calorífico por unidad de área  $\left[ \frac{Kw}{m} \right]$

$L$  = Espesor de la pared plana [ $m$ ]

$K$  = Coeficiente de conductividad térmica del material  $\left[ \frac{w}{m^{\circ}C} \right]$

$A$  = Área de la pared plana [ $m^2$ ]

### 2.1.5. TAPAS DEL HORNO

#### a. ANÁLISIS EN TAPA CUADRADA

**Transferencia de calor en una tapa cuadrada del horno (área total):**

$$Q_{T1} = \frac{T_1 - T_3}{\frac{L}{KA}} \quad Ec2.12$$

$$Q_{T1} = \frac{850^{\circ}C - 150^{\circ}C}{\frac{0.065m}{0.95 \frac{w}{m^{\circ}C} (0.57m * 0.57m)}}$$

$$Q_{T1} = 3323.9w$$

#### b. CÁLCULO DE ÁREAS DESPRECIABLES

**Área del triángulo (despreciable):**

$$A = \frac{b.h}{2} \quad Ec2.13$$

$$A = \frac{0.17 \times 0.17}{2} = 0.0144m^2$$

**Área total cuatro triángulos (Área despreciable):**

$$A_T = A * 4 \quad Ec2.14$$

$$A_T = 0.0114m^2 * 4$$

$$A_T = 0.0576m^2$$

**Transferencia de calor en área (cuadrada) despreciable de la tapa del horno:**

$$A = 0.028m^2$$

$$Q_{C1} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{L}{KA}} \quad Ec2.15$$

$$Q_{C1} = \frac{850^\circ C - 150^\circ C}{\frac{0.065m}{0.95 \frac{W}{m^\circ C} (0.028m^2)}}$$

$$Q_{C1} = 286.5w$$

**Transferencia de calor total despreciable:**

$$Q_{TDesp} = Q_{C1} * 2 \quad Ec2.16$$

$$Q_{TDesp} = 286.5w * 2 = 572.92w$$

**Calor transferido por una tapa octagonal del horno:**

$$Q_{Transf} = Q_{T1} - Q_{TDesp} \quad Ec2.17$$

Dónde:

$$Q_{T1} = \text{Transferencia de calor total en una tapa cuadrada del horno [Kw]}$$

$$Q_{TDesp} = \text{Transferencia de calor total despreciable [Kw]}$$

$$Q_{Transf} = 3323.9w - 572.92$$

$$Q_{Transf} = 2750.9w$$

**Calor total transferido en las dos tapas octagonales del horno:**

$$Q_{Tt} = Q_{Transf} * 2 \quad Ec2.18$$

$$Q_{Tt} = 2750.9w * 2$$

$$Q_{Tt} = 5501.8w$$

### 2.1.6. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN TOTAL EN EL HORNO OCTAGONAL

$$Q_{Ttransf} = Q_{Tp} + Q_{Tt} \quad Ec2.19$$

Dónde:

$$Q_{Ttransf} = \text{Transferencia de calor total por conducción en el horno} [Kw]$$

$$Q_{Tp} = \text{Transferencia de calor total en ocho paredes planas del horno} [Kw]$$

$$Q_{Tt} = \text{Transferencia de calor total en las tapas del horno} [Kw]$$

$$Q_{Ttransf} = 9655.2w + 5501.8w$$

$$Q_{Ttransf} = 15157w$$

### 2.1.7. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN

La transferencia de calor por convección, se presenta en el flujo de calor entre un fluido y un sólido.

Tanto desde el fluido al sólido, por estar el primero a mayor temperatura, como en sentido contrario si la temperatura del fluido es la menor. El proceso real de la transmisión de energía de una partícula o molécula del fluido a otra, sigue siendo un proceso de conducción.

En régimen de transporte estacionario la ley fundamental de la convección se conoce con el nombre de ley de enfriamiento de Newton:

$$q = \frac{Q}{A} = h_c (T_s - T_f) = h_c \Delta T \quad Ec2.20$$

Dónde:

$$Q = \text{Transferencia de calor por convección} [w]$$

$$h_c = \text{Coeficiente de transferencia de calor por convección} \left[ \frac{w}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$$

$$A = \text{Área de la superficie de contacto con el aire (gas interno)} \left[ m^2 \right]$$

$$T_s = \text{Temperatura de la superficie} \left[ ^\circ C \right]$$

$$T_f = \text{Temperatura del aire (gas interno) lejos de la superficie transmisora de calor} \left[ ^\circ C \right]$$

**Transferencia de calor por convección en pared plana del ladrillo refractario:**

Usando la ecuación *Ec2.20* tenemos:

$$Q_{conv1} = hA(T_s - T_f) \quad \text{Ec2.21}$$

$$Q_{conv1} = 10 \frac{w}{m^2 \cdot ^\circ C} (0.118m^2)(850^\circ C - 890^\circ C)$$

$$Q_{conv1} = -47w \text{ (Temperatura del aire mayor que la temperatura de la superficie plana del ladrillo refractario).}$$

$$Q_{conv1} = 47w$$

**Resistencia térmica de convección del ladrillo refractario:**

$$R_{Aconv} = \left( \frac{1}{hA} \right)_A \quad \text{Ec2.22}$$

Dónde:

$$h = \text{Coeficiente de transferencia de calor por convección} \left[ \frac{w}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$$

$$A = \text{Área de la superficie de contacto con el aire (gas interno)} \left[ m^2 \right]$$

$$R_{Aconv1} = \left( \frac{1}{10 \frac{w}{m^2 \cdot ^\circ C} (0.118m^2)} \right)$$

$$R_{Aconv1} = 0.847 \frac{^\circ C}{w}$$

**Transferencia de calor por convección en pared plana del acero inoxidable:**

$$Q_{conv2} = hA(T_s - T_f) \quad \text{Ec2.23}$$

$$Q_{conv2} = 10 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} (0 - 148m^2)(150^\circ C - 20^\circ C)$$

$$Q_{conv2} = 192.4W$$

**Resistencia térmica de convección del acero inoxidable: usando la ecuación**

**Ec2.22 tenemos:**

$$R_{Bconv} = \left( \frac{1}{hA} \right)_B \quad Ec2.24$$

$$R_{Bconv} = \left( \frac{1}{10 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} (0.148m^2)} \right)$$

$$R_{Bconv} = 0.675 \frac{^\circ C}{W}$$

**Transferencia de calor por convección total en horno octagonal:**

$$Q_{Ttransf} = Q_{conv1} + Q_{conv2} \quad Ec2.19$$

Donde:

$$Q_{TtransfConv} = \text{Transferencia de calor total por convección en el horno} [Kw]$$

$$Q_{conv1} = \text{Transferencia de calor por convección en pared plana del ladrillo refractario} [Kw]$$

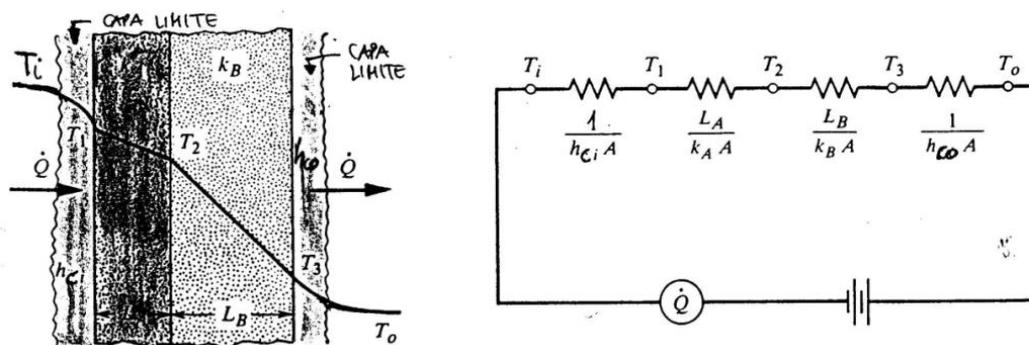
$$Q_{conv2} = \text{Transferencia de calor por convección en pared plana del acero inoxidable} [Kw]$$

$$Q_{TtransfConv} = 47W + 192.4W$$

$$Q_{TtransfConv} = 239.4W$$

### 2.1.8. ANALOGÍA ELÉCTRICA DE CONDUCCIÓN Y CONVECCIÓN

Pared plana en contacto con fluidos a diferente temperatura. La **Figura 2.3**, muestra una pared plana compuesta de dos capas, A y B, de materiales sólidos limitada en cada cara por fluidos. La sección transversal tiene un área A y los espesores y las conductividades térmicas de las capas A y B son  $L_A$ ,  $k_A$ ,  $L_B$  y  $k_B$ .



**Figura 2.3. Distribución de la temperatura para la transferencia de calor estacionaria a través de una pared plana compuesta y circuito térmico equivalente, en el caso de que la superficie interna y externa pierda calor solo por convección.**

Fuente: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion2.HornosResistencia.PERDIDAS.CALOR.pdf> [13]

$$R_{TOTAL} = R_{Aconv} + R_{Acond} + R_{Bcond} + R_{Bconv} \quad Ec2.25$$

$$R_{TOTAL} = 0.847 \frac{^{\circ}C}{W} + 0.5798 \frac{^{\circ}C}{W} + 2.071 * 10^{-4} \frac{^{\circ}C}{W} + 0.675 \frac{^{\circ}C}{W}$$

$$R_{TOTAL} = 2.1 \frac{^{\circ}C}{W}$$

### Transferencia de calor por conducción y convección total del horno octagonal:

$$Q_{TtransfCALOR} = Q_{TtransfCond} + Q_{TtransfConv}$$

$$Q_{TtransfCALOR} = 15157W + 239.4W$$

$$Q_{TtransfCALOR} = 15396.4W$$

## 2.2. DISEÑO MECÁNICO

### 2.2.1. DISEÑO NEUMÁTICO

Para levantar la tapa se necesita situar al horno en una estructura para colocar el sistema neumático que realizará esta acción y se aprovechará dicha estructura para además situar los elementos de control y actuadores necesarios para dar temple y revenido a dos tipos de aceros: **Figura 2.4.**

Por lo que se analizará y diseñará una estructura que soporte al horno y permita colocar un pistón neumático para la apertura de la tapa. Y de acuerdo a la presión suministrada existente en el laboratorio de control industrial dónde se van a ejecutar

las pruebas del horno, se realiza un análisis para determinar el cilindro neumático adecuado que pueda levantar el peso de la tapa con la presión existente.

### a. PARÁMETROS DE DISEÑO

A continuación se indican las características principales del horno y del cilindro neumático disponible, que influyen directamente en el diseño neumático del sistema de elevación de la tapa del horno:

- Peso de la tapa del horno = 100 N (10 kg )
- Longitud del cilindro neumático completamente extendido = 825 mm
- Longitud del cilindro neumático completamente retraído = 525 mm
- Carrera máxima del pistón del cilindro neumático = 300 mm
- Diámetro del pistón del cilindro neumático = 35 mm
- Diámetro del vástago del cilindro neumático = 20 mm
- Factor de carga (F.C.) = 1.5
- Fuente de aire = 6 bares

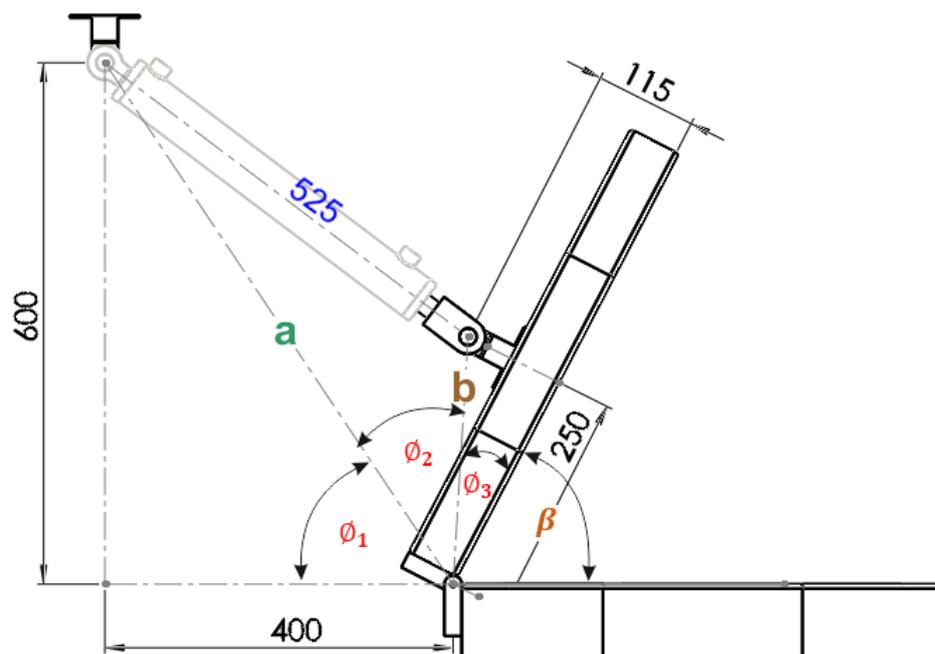


Figura 2.4. Geometría del sistema de elevación de la tapa del horno.

## b. ANÁLISIS DEL ÁNGULO DE APERTURA DE LA TAPA

A partir de la geometría del sistema de elevación y los parámetros de diseño se determina el ángulo máximo de apertura de la tapa, por medio del procedimiento que se describe a continuación:

Resolviendo los dos triángulos rectángulos:

$$\tan \theta_1 = \frac{co}{ca} \quad Ec2.26$$

Dónde:

$$co = \text{Cateto opuesto al ángulo } \theta_1 \text{ [mm]}$$

$$ca = \text{Cateto adyacente al ángulo } \theta_1 \text{ [mm]}$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{600}{400} = 56.31^\circ$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{115}{250} = 24.70^\circ$$

$$a = \sqrt{b^2 + c^2} \quad Ec2.27$$

$$a = \sqrt{600^2 + 400^2} = 721.11mm$$

$$b = \sqrt{115^2 + 250^2} = 275.18mm$$

Aplicando la ley de cosenos, se tiene:

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \theta_2 \quad Ec2.28$$

$$525^2 = 721.11^2 + 275.18^2 - 2 * 721.11 * 275.18 * \cos \theta_2$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} \left( \frac{721.11^2 + 275.18^2 - 525^2}{2 * 721.11 * 275.18} \right)$$

$$\theta_2 = 36.24^\circ$$

Entonces, el ángulo máximo de apertura de la tapa del horno es:

$$\beta = 180^\circ - \theta_1 - \theta_2 - \theta_3 \quad Ec2.29$$

$$\beta = 180^\circ - 56.31 - 36.24 - 24.70 = 62.75^\circ$$

De forma semejante se determina el ángulo que forma el cilindro neumático con la horizontal cuando la tapa se encuentra completamente cerrada:

$$\sin \theta = \frac{CO}{H} \quad Ec2.30$$

$CO$  = Cateto opuesto al ángulo  $B$  [mm]

$H$  = Distancia entre  $B-C$  [mm]

$$\sin \theta = \frac{485mm}{825mm}$$

$$\theta = 36.0^\circ$$

Justificación de longitud del cilindro neumático completamente retraído por semejanza de ángulos.

$$\frac{250mm}{115mm} = \frac{x}{250mm} \text{ entonces } x = \frac{250mm * 250mm}{115mm} \quad Ec2.31$$

$$x = 543.48mm$$

$$180 - \theta_1 - \theta_2 - \theta_3 - \beta = 0$$

$$\tan \beta = \frac{CO}{CA} \quad Ec2.32$$

$$\tan \beta = \frac{543.48mm}{250mm}$$

$$\beta = 65.30^\circ$$

$$180^\circ - 56.31^\circ - \theta_2 - 24.7^\circ = 0 \quad Ec2.33$$

$$\theta_2 = 180^\circ - 56.31^\circ - 24.7^\circ$$

$$\theta_2 = 33.69^\circ$$

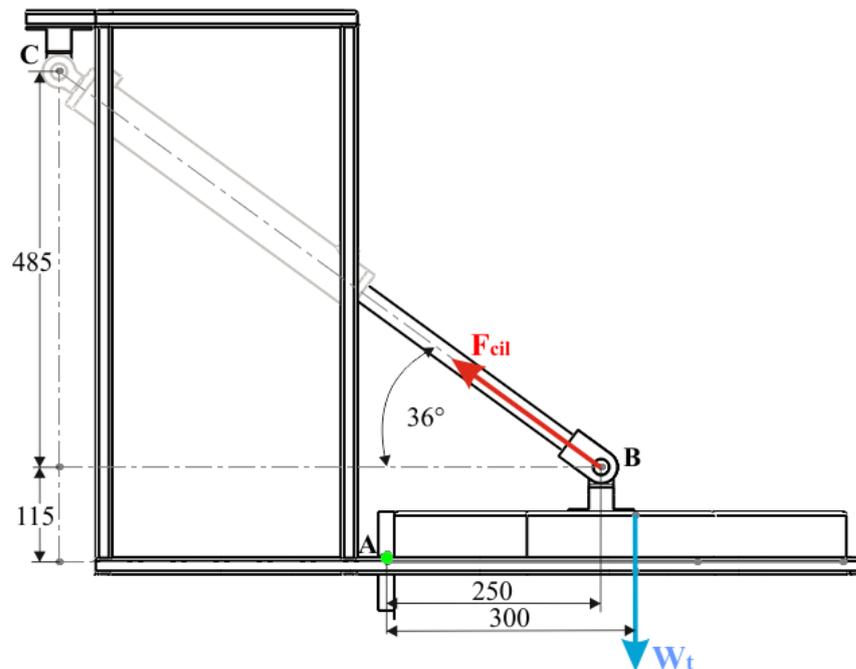
$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \theta_a \quad Ec2.34$$

$$a^2 = (721.11mm)^2 + (275.18mm)^2 - 2(721.11mm)(275.18mm) \cos 33.69^\circ$$

$$a = 515.3mm$$

### c. ANÁLISIS DE LA FUERZA DE APERTURA DE LA TAPA

En base a los parámetros anteriores y la disposición de los componentes del sistema de elevación mostrado en la **Figura 2.5**, se determina la fuerza requerida para levantar la tapa  $F_{cil}$ :



**Figura 2.5. Cargas que actúan sobre el sistema de elevación de la tapa.**

$$\sum M_A = 0 \quad \text{Ec2.35}$$

$$F_{cil} * \cos 36^\circ * 115\text{mm} + F_{cil} * \sin 36^\circ * 250\text{mm} - W_t * 300\text{mm} = 0$$

$$F_{cil} = \frac{100\text{N} * 1.5 * 300}{\cos 36^\circ * 115 + \sin 36^\circ * 250}$$

$$F_{cil} = 187.5\text{N}$$

A partir de ésta fuerza y las dimensiones del cilindro neumático se calcula la presión mínima requerida para elevar la tapa:

$$p = \frac{F_{cil}}{A_p} \quad \text{Ec2.36}$$

Dónde:

$p$  = Presión mínima requerida para levantar la tapa [bares]

$A_p$  = Área sobre la que actúa la presión [ $\text{mm}^2$ ]

$F_{cil}$  = Fuerza del cilindro [N]

$$p = \frac{187.5N}{\frac{\pi}{4}(35^2 - 20^2)mm}$$

$$p = 0.29Mpa = 2.9bares$$

Ya que la presión disponible en el sistema es de 6 bares, se concluye que el pistón puede levantar la tapa sin ningún problema.

Considerando un tiempo total de 10 segundos para elevar la tapa del horno  $60^\circ$ , se tiene que para la carrera máxima del pistón de 300 mm, la velocidad del vástago viene dado por:

$$V_{vastag} = \frac{L}{t} \tag{Ec2.37}$$

$$V_{vastag} = \frac{0.30m}{10s} = 0.03 \frac{m}{s} = 3.0 \frac{cm}{s}$$

Por lo tanto, el flujo  $Q$  de aire requerido para levantar la tapa del horno es:

$$Q = V_{vastag} * A_p \tag{Ec2.38}$$

Dónde:

$$V_{vastag} = \text{Velocidad del vástago} \left[ \frac{cm}{s} \right]$$

$$A_p = \text{Área sobre la que actúa la presión} [cm^2]$$

$$Q = 3.0 \frac{cm}{s} * \frac{\pi}{4}(3.5^2 - 2.0^2)cm^2$$

$$Q = 19.3 \frac{cm^3}{s} = 0.0194 \frac{lt}{s}$$

Justificación de longitud del cilindro neumático completamente extendido por Pitágoras:

$$\tan \theta_b = \frac{co}{ca} \tag{Ec2.39}$$

$$\tan \theta_b = \frac{485mm}{650mm}$$

$$\theta_b = 36.73^\circ$$

$$x = \sqrt{c^2 + b^2} \tag{Ec2.40}$$

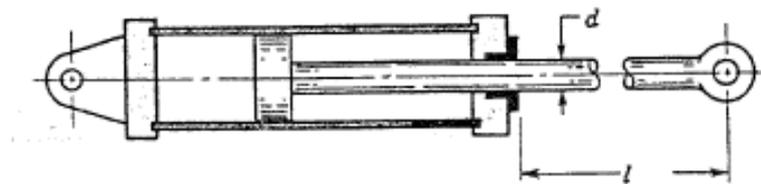
$$x = \sqrt{650mm^2 + 485mm^2}$$

$$x = 811.00mm$$

### 2.2.2. DISEÑO MECÁNICO DEL VÁSTAGO

Para el levantamiento de la tapa del horno se tiene un cilindro neumático con montaje articulado. Como se muestra en la **Figura 2.6**, el vástago del pistón se dimensiona como una columna con ambos extremos redondeados para cualquier plano de pandeo. La longitud de la columna de  $300\text{ mm}$  ( $11.81\text{ pulg}$ ) es la distancia del extremo libre al cilindro cuando el vástago se halla totalmente fuera.

Para realizar el levantamiento de la tapa del horno para tratamientos térmicos se tiene una presión neumática máxima de  $87\text{ psi}$  ( $6\text{ bares}$ ), un diámetro interior del cilindro de  $1,378\text{ pulg}$  ( $35mm$ ), y un acero AISI 1030 como material del vástago.



**Figura 2.6. Esquema de un cilindro neumático.**

Fuente: R. Budynas y J. Nisbett. Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. Cuarta edición.

La selección del factor de diseño es responsabilidad del diseñador, y un factor común utilizado en el diseño mecánico es:  $n_d = 3$ , seleccionado por la incertidumbre de las propiedades del material, la fijación de los extremos, la rectitud de la columna o la posibilidad de que la carga se aplique con algo de excentricidad y no a lo largo de la columna. [14]

Hay que determinar la fuerza que actúa sobre el vástago del cilindro neumático.

$$F = P \times A \tag{Ec2.41}$$

Dónde:

$$F = 87psi \left( \frac{\pi}{4} \right) (1.378^2) = 129.75\text{ lbf}$$

Se procede al cálculo para determinar la carga crítica, a partir de la de la fuerza ejercida por el cilindro para retraer o extender el vástago.

$$P_{cr}' = n_d \times F \quad \text{Ec2.42}$$

$$P_{cr}' = 3 \times 129.75 = 389.25 \text{ lbf}$$

Dónde:

$n_d$  = Factor de seguridad.

$P_{cr}'$  = Fuerza crítica de la columna por la presión ejercida sobre el cilindro.

Utilizando la Ecuación de Euler para tamaños de columnas con sección transversal redonda.

$$d = \left( \frac{64P_{cr}'l^2}{\pi^3CE} \right)^{1/4} \quad \text{Ec2.43}$$

Dónde:

$d$  = diámetro del vástago.

$l$  = longitud del vástago.

$C$  = El factor  $C$  se conoce como constante de condiciones en extremos; por ser los extremos de las columnas como articulado-articulado, entonces  $C = 1$  (de la Tabla 4-2 en el **Anexo C**).

$E$  = Módulo de elasticidad, para un acero al carbono es de 30 *Mpsi* (ver **Anexo C**, constantes físicas de materiales).

$$d = \left( \frac{64(389.25)(11.811^2)}{\pi^3(1)(30 \times 10^6)} \right)^{1/4} = 0.247 \text{ pulg} = 6.273 \text{ mm}$$

Usar  $d = 0.30 \text{ pulg} = 7.62 \text{ mm}$ .

La relación de esbeltez para dicho tamaño es:

$$\frac{l}{k} = \frac{11.811}{0.075} = 157.48$$

Mediante  $A = \pi d^2/4$  e  $I = \pi d^4/64$  entonces  $k = \sqrt{I/A}$  y reemplazando es:  $k = [(\pi d^4/64)/(\pi d^2/4)]^{1/2} = d/4$

Dónde:

$k$  = radio de giro y es igual a  $k = d/4 = 0.075 \text{ pulg}$

$A$  = Área

$I$  = Inercia

$d$  = Diámetro

En la que ésta relación, en lugar de la longitud real de la columna se usará para clasificar las columnas de acuerdo con las categorías de longitud.

Para estar seguros de que se trata de una columna de Euler se emplea la Ec2.44, con lo que se obtiene.

$$\left(\frac{l}{k}\right)_1 = \left(\frac{2\pi^2 CE}{S_y}\right)^{1/2} \quad \text{Ec2.44}$$

Dónde:

$S_y$  = Resistencia a la fluencia; y es de  $37.5 \text{ kpsi}$  obtenido de la **Tabla A-20** del **Anexo C** para un acero AISI 1030.

$$\left(\frac{l}{k}\right)_1 = \left(\frac{2\pi^2(1)(30 \times 10^6)}{37,5 (10^3)}\right)^{1/2} = 125.65$$

Entonces solo cuando la relación de esbeltez real  $\frac{l}{k}$  es mayor que  $\left(\frac{l}{k}\right)_1$  se usa la ecuación de Euler con lo cual se concluye que es una columna larga o muy estrecha.

Ahora se procede a calcular la carga crítica máxima que soporta el vástago con un diámetro calculado anteriormente de  $0.30 \text{ pulg}$ .

$$P_{crm\acute{a}x}' = \frac{C\pi^2 EA}{(l/k)^2} \quad \text{Ec2.45}$$

$$P_{crm\acute{a}x}' = \frac{\pi^2(30 \times 10^6) \left(\frac{\pi}{64}\right) (0,30^4)}{(157,48)^2} = 303.81 \text{ lbf}$$

Entonces un diámetro  $d = 0,30 \text{ pulg} = 7,62 \text{ mm}$  es un mínimo para el vástago, por lo que soportará las fuerzas aplicadas al mismo.

Ahora se determinará el factor de diseño real para el vástago, que se expresa con la siguiente fórmula.

$$n_d = \frac{P_{cr\acute{m}ax}'}{F} = \frac{303,81 \text{ lbf}}{129,74 \text{ lbf}} = 2,34$$

Entonces se debe multiplicar el factor de diseño real para determinar la fuerza crítica real que soporta el vástago como sigue:

$$P_{cr} = 2,34 \times 129,75 = 303,62 \text{ lbf}$$

Por lo que se concluye que un vástago de 0,30 *pulg* de diámetro, soporta una fuerza crítica de 303,62 *lbf*, para una presión máxima de 87 *psi* que multiplicada por el área del cilindro da una fuerza de 129,75 *lbf*.

Entonces el vástago utilizado en el proyecto tiene un diámetro igual a 0.787 *pulg* (20 *mm*), al cual se le aplica la misma fuerza de 42,15 *lbf* (187,5 *N*), que es la que ejerce el cilindro por medio de la presión neumática para contraer y extraer el vástago y cuya carga crítica es:

$$P_{cr\text{vástago-proyecto}} = \frac{\pi^2(30 \times 10^6) \left(\frac{\pi}{64}\right) (0,787^4)}{(15,14)^2} = 24324,17 \text{ lbf}$$

Por lo que la carga crítica del vástago del proyecto ( $P_{cr\text{vástago-proyecto}}$ ), con el diámetro de 0.787 *pulg* (20 *mm*), es mayor a la carga crítica del vástago de diámetro 0.787 *pulg* (20 *mm*), entonces es suficiente para levantar la tapa, y de esta manera se asegura que la acción se realizara de manera satisfactoria.

### 2.2.3. DISEÑO ESTRUCTURAL

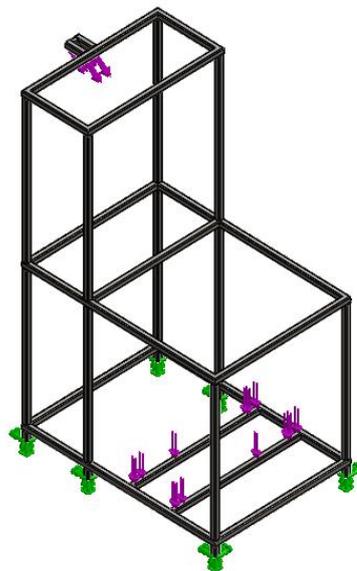
En el diseño neumático, se calculó el cilindro neumático para levantar la tapa del horno para tratamientos térmicos, ahora es necesario ensamblar estos elementos para su correcto funcionamiento, por lo que se requiere diseñar una estructura para situar el horno y elementos neumáticos, y que soporten las fuerzas que deben aplicarse para abrir la tapa del horno correctamente y sin que la estructura se fracture o doble:

**Figura 2.7.**

### a. PARÁMETROS DE DISEÑO

- Peso del horno = 900 N (90.71 kg)
- Largo del horno = 600 mm
- Ancho del horno = 600 mm
- Alto del horno = 700 mm
- Fuerza aplicada por el cilindro neumático = -187.51 N

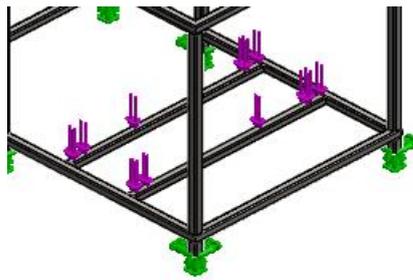
Estos son los parámetros necesarios para el diseño de la estructura, los detalles se pueden encontrar en el **Anexo E**, modelación y resultados del análisis de la estructura para el horno de tratamientos térmicos, de donde se obtuvo la **Figura 2.7**.



**Figura 2.7. Estructura metálica.**

### b. ELEMENTOS CRÍTICOS DENTRO DE LA ESTRUCTURA

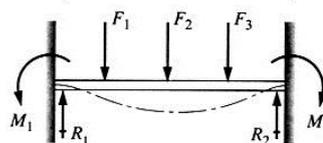
Dentro de una estructura existen secciones o puntos de la misma que están sujetas a cargas ya sea de tracción, flexión, compresión y torsión que son mayores a las cargas de otras secciones, por lo que hay la necesidad de analizar éstas y poder determinar si soportan la carga aplicada, para con ello tomar decisiones en la parte de diseño de la estructura. Los elementos críticos en la estructura son las dos barras (vigas) que soportan el peso total del horno como se muestra en la **Figura 2.8**.



**Figura 2.8. Barras que soportan el peso del horno.**

### c. CÁLCULO DE LAS REACCIONES Y MOMENTOS FLEXIONANTES EN VIGAS

Análisis de las vigas bajo el criterio de estáticamente indeterminadas ya que dichas vigas se encuentran soldadas a la parte baja de la estructura, entonces se puede decir que están con ambos extremos fijos o empotrados, y el momento en el extremo de la viga puede llegar a ser máximo. Debido a la carga distribuida que ejerce el horno sobre las vigas se desea determinar si existe flexión de éstas, en la **Figura 2.9**, se muestra una viga con apoyos fijos.



**Figura 2.9. Representación esquemática de una viga con dos apoyos fijos.**

Fuente: <http://personales.upv.es/fbardisa/Pdf/FormularioVigas.pdf>

### d. FUERZAS CORTANTES

Las cuales son fuerzas internas que se generan en el material de una viga, para equilibrar las fuerzas aplicadas externamente y garantizar el equilibrio en todas sus partes como se muestra en la **Figura 2.11**.

### e. MOMENTOS FLEXIONANTES

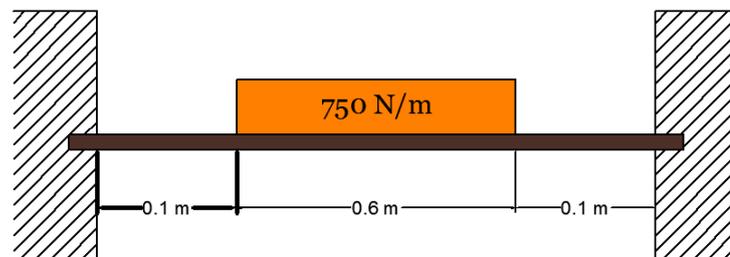
Los momentos flexionantes, como se muestra en la **Figura 2.11**, de igual manera, por ser un sistema simétrico, son iguales y estos se desarrollan por la aplicación de

cargas perpendiculares a la viga, los cuales hacen que la viga asuma su forma característica curvada o “flexionada”.

## f. CÁLCULO DE LAS FUERZAS DE REACCIÓN EN LAS BARRAS

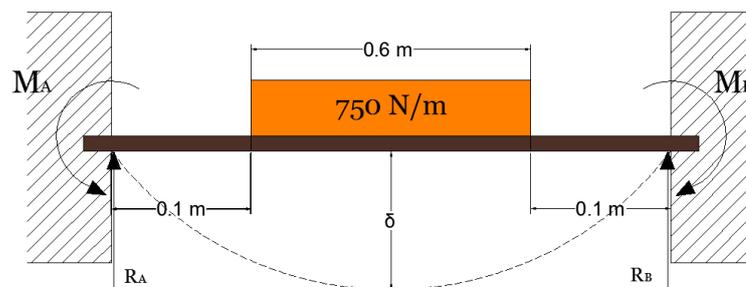
**Datos:** El peso del horno es de 90.71 Kg situado sobre dos vigas que sostienen al horno, por lo que dicho peso se distribuirá para cada viga, entonces se procederá a analizar una viga con la mitad de la carga aplicada y el resultado del análisis para la primera viga será el mismo para la otra.

La fuerza ejercida es una carga distribuida de 900 N sobre una longitud de 0,6m da una carga total de 1500 [N]/m, pero como la carga está aplicada sobre dos vigas de iguales características ésta se divide para cada viga, que será igual a 750 [N]/m aplicada como se muestra en la **Figura 2.10**.



**Figura 2.10. Representación esquemática de la barra que sostiene al horno.**

**Análisis:** Tomando (por simetría) un empotramiento en el centro y voladizo en la parte izquierda del sistema.



**Figura 2.11. Representación de los momentos y las reacciones existentes en las vigas.**

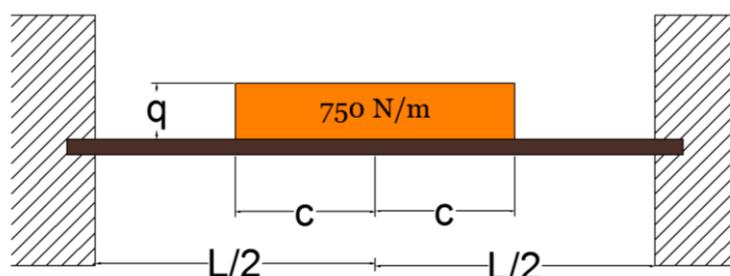
Para dar solución a la viga doblemente empotrada, que se cataloga como una viga estáticamente indeterminada se usaran las Ec2.46 y Ec2.47, de la tabla de vigas con distintas hipótesis de carga que se encuentra en el **Anexo C**, para determinar los momentos máximos, los cuales se encuentran en los empotramientos y son iguales por ser un sistema simétrico, como también las reacciones que proporcionan las paredes entonces:  $R_A = R_B$

$$M_A = \frac{qc}{12L}(3L^2 - 4c^2) \quad \text{Ec2.46}$$

$$M_B = -\frac{qc}{12L}(3L^2 - 4c^2)$$

$$R_A = qc \quad \text{Ec2.47}$$

Dónde cada factor se define en la **Figura 2.12**.



**Figura 2.12. Gráfico de la hipótesis de carga de una viga estáticamente indeterminada.**

Entonces reemplazando los datos para hallar los momentos en la Ec2.46.

$$M_A = \frac{(750)(0,3)}{12(0,8)}(3(0,8)^2 - 4(0,3)^2)$$

$$M_A = 52,15 \text{ N.m y } M_B = -52,15 \text{ N.m}$$

Y para hallar las reacciones en la Ec2.47.

$$R_A = (750)(0,3) = 225 \text{ N}$$

Ahora se determinará el esfuerzo aplicado sobre la viga, que es la fuerza que tiende a doblar a la viga. Para ello con el módulo de resistencia  $S = 1,81 \text{ cm}^3$ , tomado del catálogo DIPAC en el Anexo C, se aplica la fórmula de esfuerzo.

$$\sigma = \frac{M}{S}$$

$$\sigma = \frac{52,15 \text{ N.m}}{1,81 \text{ cm}^3} \times \frac{(100 \text{ cm})^3}{1 \text{ m}^3} = 28,81 \text{ MPa}$$

Dónde:

$M$  = Momento de inercia.

$\sigma$  = Esfuerzo normal por tensión.

$S$  = Módulo de Resistencia.

Para determinar el esfuerzo máximo se debe tomar en cuenta todos los esfuerzos existentes en el sistema para ello se aplica el círculo de Mohr Dónde:

$J_{total} = J_{Flexión} + J_{Torsión}$  , entonces  $J_{total} = 0 + 0$  por ser un sistema hiperestático no existe un esfuerzo normal por flexión ( $\sigma_y$ ) y no existe un esfuerzo cortante por torsión ( $J_{xy}$ ) entonces se tiene:

$$\sigma_y = 0$$

$$J_{xy} = 0$$

Entonces aplicando el Círculo de Mohr por las siguientes ecuaciones:

$$C = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \quad \text{Ec2.48}$$

$$r = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + J_{xy}^2} \quad \text{Ec2.49}$$

$$\sigma_1 = C + r \quad \text{Ec2.50}$$

$$\sigma_2 = C - r \quad \text{Ec2.51}$$

$$\sigma_{máx} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2} \quad \text{Ec2.52}$$

Dónde:

$C$  = Centro del círculo de Mohr.

$r$  = Radio del círculo de Mohr.

$\sigma_{máx}$  = Esfuerzo normal máximo por tensión.

Resolviendo las Ec2.48 a la Ec2.52 se tiene:

$$C = \frac{28,81MPa+0}{2} = 14,40MPa$$

$$r = \pm \sqrt{\left(\frac{28,81MPa+0}{2}\right)^2 + 0} = 14,40MPa$$

$$\sigma_1 = 14,4 + 14,4 = 28,81$$

$$\sigma_2 = 14,4 - 14,4 = 0$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \sqrt{28,81^2 + 0 - 0} = 28,81MPa$$

Y ahora el factor de seguridad para la viga, que si es mayor a 1 indica la capacidad en exceso que tiene el sistema por sobre los requerimientos.

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_{max}} = \frac{248,7MPa}{28,81MPa} = 8,63$$

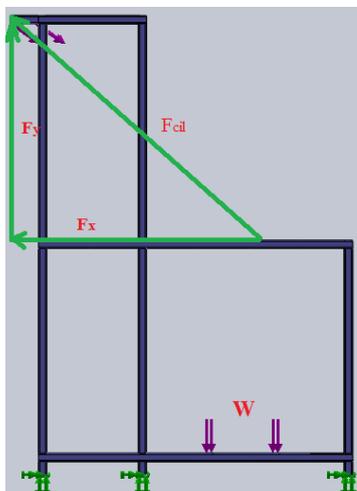
Dónde:

$S_y$  = Resistencia a la fluencia del material (tubo cuadrado), tomado de la **Tabla 2.6**.

$\eta$  = Factor de seguridad.

### g. CÁLCULO DE LAS FUERZAS TOTALES QUE ACTÚAN SOBRE LA ESTRUCTURA

En la **Figura 2.13**, se muestran las fuerzas totales que actúan sobre la estructura producto del peso del horno y la fuerza que ejerce el cilindro neumático cuando abre la tapa.



**Figura 2.13. Diagrama de cuerpo libre de las fuerzas que actúan sobre la estructura del horno.**

$$\sum Fx = 0$$

$$Fx - F_{cil} * \cos \theta = 0$$

$$Fx = 187.5N * \cos 36^\circ$$

$$Fx = 151.69N$$

$$\sum Fy = 0$$

$$Fx - F_{cil} * \sin \theta - W = 0$$

$$Fy = 187.5N * \sin 36^\circ + 900N$$

$$Fy = 1010N$$

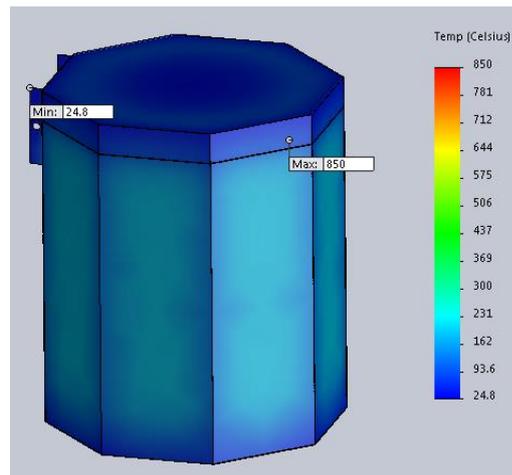
### 2.3. ANÁLISIS EN SOFTWARE PARA DISEÑO MECÁNICO

En esta sección se presentan los resultados de los análisis realizados en software para diseño mecánico, para los cálculos de transferencia de calor, fuerza de apertura de la tapa del horno ejecutada por el cilindro neumático, el diseño mecánico del vástago y los elementos críticos dentro la estructura donde se sitúan el cilindro neumático y el horno para tratamientos térmicos, además de los elementos de control.

#### 2.3.1. TRANSFERENCIA DE CALOR DEL HORNO

Como se vio anteriormente la transferencia de calor por conducción en las paredes del horno de tratamientos térmicos, cuya tasa de flujo calorífico total es:  $Q = 1206.9W$  por cada pared del horno. Y el calor total transferido considerando las ocho paredes planas es de  $Q_{Tp} = 9655.2W$ .

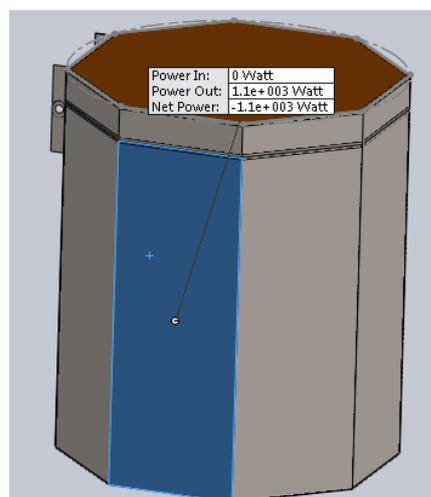
Como se muestra en la **Figura 2.14**, la temperatura interna es de  $850^\circ C$ , la cual es la máxima que se obtiene en el tratamiento térmico con la temperatura más crítica que es el temple, y el análisis indica, según el color del tanque con la regleta, que la temperatura en el acero inoxidable que cubre al ladrillo refractario en el exterior y está en contacto directo, está entre los  $25,5$  a  $250^\circ C$ .



**Figura 2.14. Transferencia de temperatura del horno.**

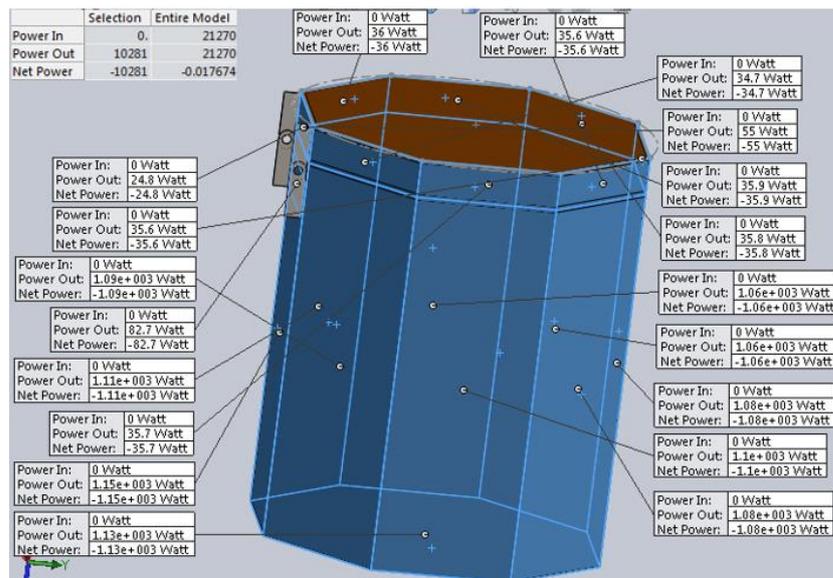
Ahora la potencia calorífica en una pared del horno, resultante de la transferencia de calor, que en comparación con la calculada existe una variación. La razón de esta variación es porque en la selección del material en el software, no existe el utilizado en el proyecto. El material del horno es un ladrillo refractario y en el programa se encuentra un material cerámico con similares características físicas.

En la **Figura 2.15**, se puede observar que la potencia calorífica en una pared del horno es de 1080 W resultante de la transferencia de calor y lo calculado es de 1206,9 W.



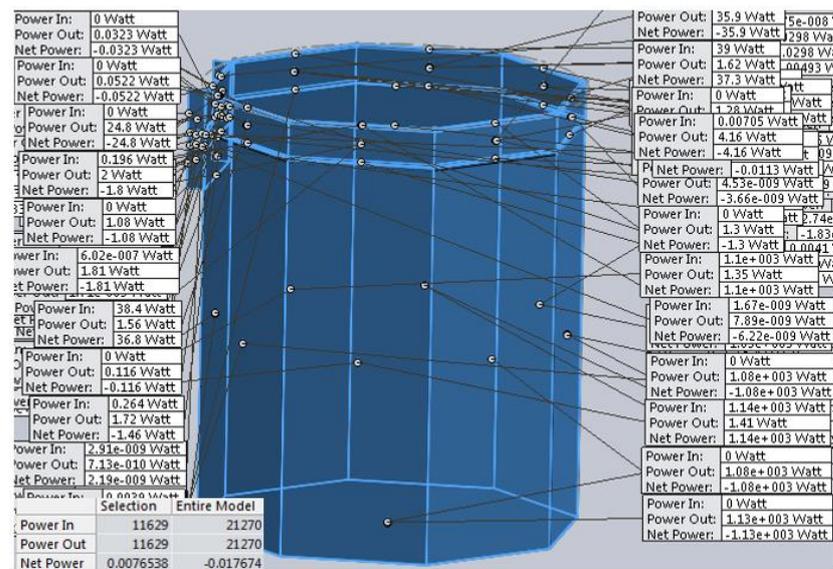
**Figura 2.15. Transferencia de potencia calorífica en una pared del horno.**

Ahora la transferencia de calor por dos resistencias térmicas del horno (considerando ocho paredes planas) como se muestra en la **Figura 2.16**, con un valor de 10281 W y la obtenida en calculos es de 9655.2 W.



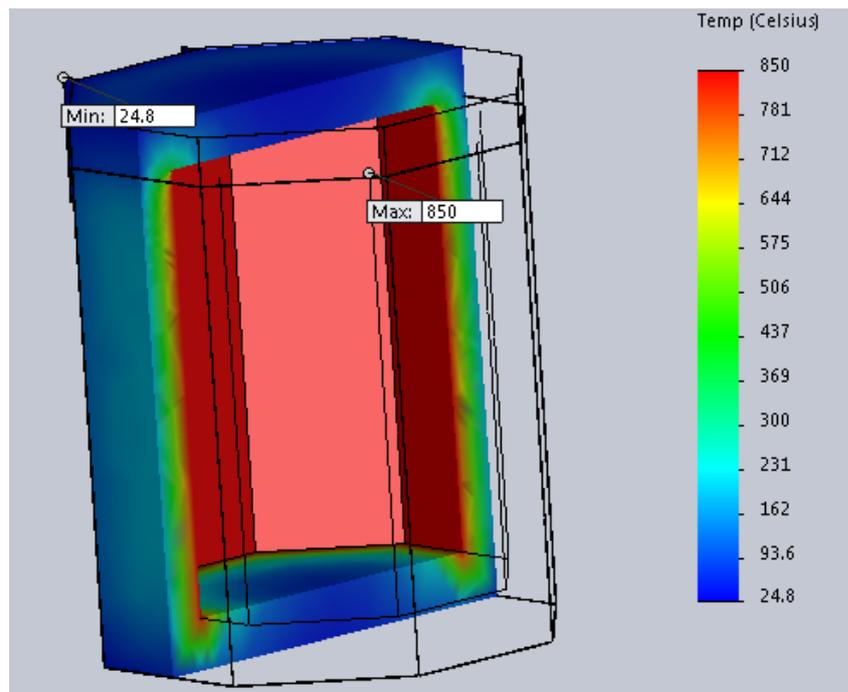
**Figura 2.16. Transferencia de potencia calórica del horno en todo el acero inoxidable.**

Y en la **Figura 2.17**, muestra la transferencia de potencia calórica total de todo el horno en el acero inoxidable. Con un valor de 11629 W, y la obtenida en los cálculos es de 15396.4 W.



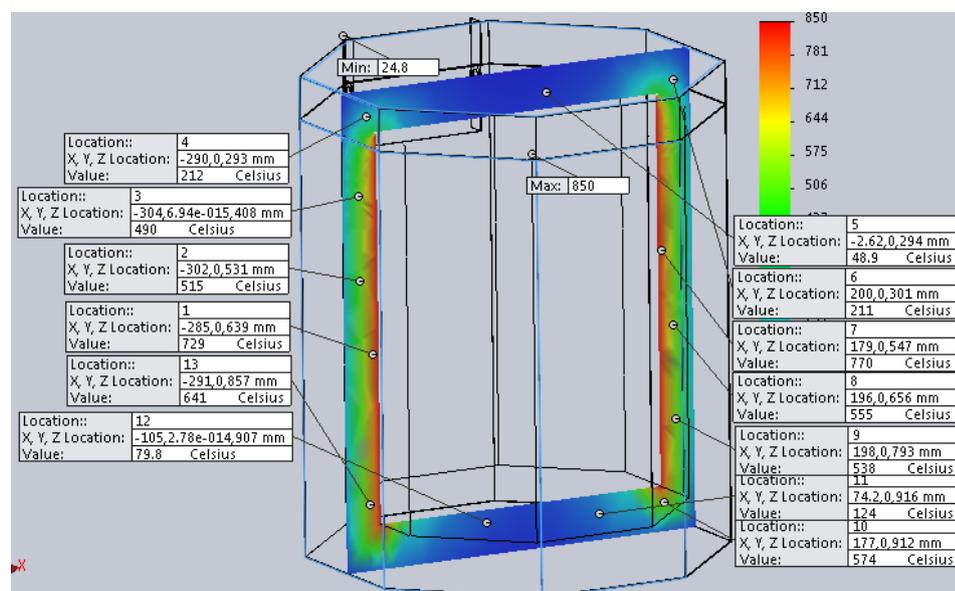
**Figura 2.17. Transferencia de potencia calórica total del horno.**

En la **Figura 2.18**, se muestra el corte por sección del horno donde se aprecia la transferencia de calor a través del ladrillo refractario y el acero inoxidable.



**Figura 2.18. Corte por sección del horno en planta.**

En la **Figura 2.19**, se muestra diferentes puntos de temperatura en las paredes del horno, en las zonas rojas donde existe mayor temperatura, las cuales se encuentran en el interior del horno ya que las resistencias calefactoras se encuentran en las paredes internas del ladrillo refractario.



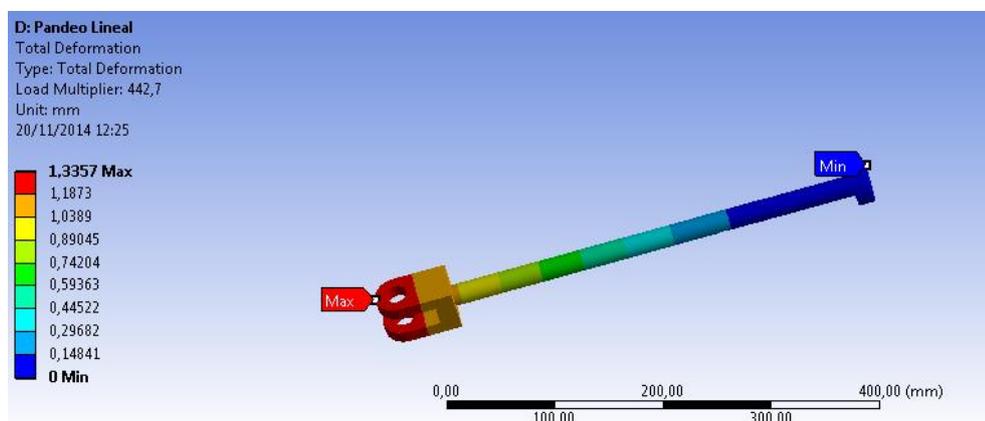
**Figura 2.19. Diferentes puntos de calor en las paredes del horno.**

### 2.3.2. ANÁLISIS DE PANDEO DEL VÁSTAGO

El análisis de pandeo del vástago producto de la fuerza que el cilindro neumático necesita para levantar la tapa un ángulo de  $62,75^\circ$ .

La fuerza mínima requerida para levantar la tapa es de  $187,5N$ , que debe ejercer el cilindro neumático con una presión mínima de  $2,9 \text{ bares}$ .

Entonces se analiza en software de diseño al vástago del cilindro neumático para observar el pandeo máximo que sufre. Como se muestra en la **Figura 2.20**, el valor de pandeo máximo que sufre al aplicar la fuerza para levantar la tapa del horno es de  $1,34mm$ , entonces se demuestra que la deformación del vástago es mínima por lo que se concluye que es capaz de levantar el peso de la tapa sin sufrir daños.



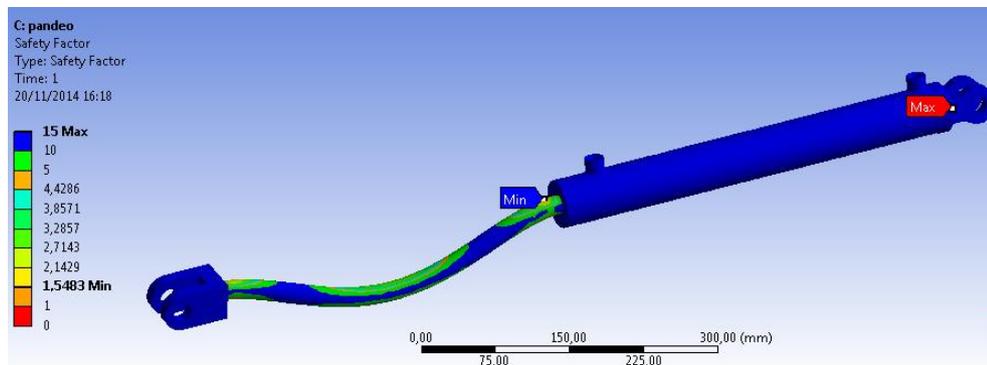
**Figura 2.20. Deformación total por pandeo del vástago.**

### 2.3.3. ANÁLISIS DEL DISEÑO MECÁNICO DEL VÁSTAGO

A partir de una presión de  $87 \text{ psi}$  ( $6 \text{ bares}$ ), como presión neumática máxima existente en la línea de aire presurizado, mediante los parámetros de diseño se calculó el diámetro mínimo del vástago para que soporte dicha presión. Se obtuvo que con un vástago de diámetro de  $0,30 \text{ pulg}$  ( $7,62mm$ ) con un acero AISI 1030 soporta hasta una fuerza máxima de carga de  $303.62 \text{ lbf}$ .

El proyecto cuenta con un vástago de  $20 \text{ mm}$  de diámetro, al cual se le sometió a un análisis en software de diseño mecánico para determinar el esfuerzo máximo que soporta.

En el diseño mecánico del vástago se calculó una fuerza de 24324,17 lbf (108,19 KN) como la crítica, en la **Figura 2.21**, muestra un factor de diseño de  $n_d = 1,54$  por lo cual se concluye que soporta dicha fuerza.



**Figura 2.21. Cilindro y el vástago aplicado la carga crítica.**

En el cálculo previo, se determinó que la fuerza necesaria para levantar la tapa del horno es de 187,5 N; mismo que sometido a un análisis en el software de diseño, se demostró que es el ideal para el funcionamiento óptimo del cilindro neumático.

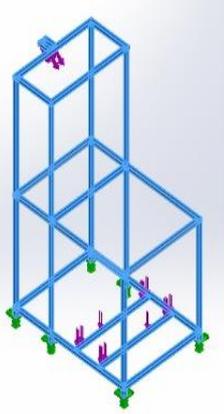
### **2.3.4. ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS CRÍTICOS DENTRO LA ESTRUCTURA**

Para el análisis de los elementos críticos dentro de la estructura se tomó en cuenta varios parámetros antes de su construcción como por ejemplo, que el material esté disponible en el mercado, el mínimo grosor para abaratar costos y que soporte el peso total de la planta para tratamientos térmicos de piezas metálicas.

#### **a. MATERIAL UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA EN SOFTWARE PARA DISEÑO MECÁNICO**

Se eligió un tubo cuadrado ASTM A36 de acero de 20 X 20 mm en el cual las características se detallan en la **Tabla 2.1**.

**Tabla 2.1. Propiedades estructurales del tubo cuadrado ASTM A36 de acero de 20 X 20 mm.**

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: <b>ASTM A36 Acero</b></p> <p>Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b></p> <p>Límite elástico: <b>250 N/mm<sup>2</sup></b></p> <p>Límite de tracción: <b>400 N/mm<sup>2</sup></b></p> <p>Módulo elástico: <b>200000 N/mm<sup>2</sup></b></p> <p>Coefficiente de Poisson: <b>0.26</b></p> <p>Densidad: <b>7850 g/cm<sup>3</sup></b></p> <p>Módulo cortante: <b>79300 N/mm<sup>2</sup></b></p>	<p>Estructura horno para tratamientos térmicos.</p>

Así como también las propiedades volumétricas del material utilizado en toda la estructura, **Tabla 2.2.**

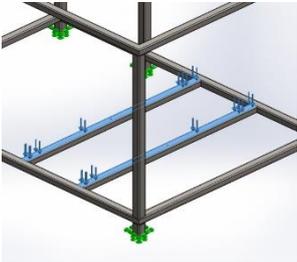
**Tabla 2.2. Propiedades volumétricas del tubo cuadrado para la estructura del horno.**

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas
<p>Estructura horno para tratamientos térmicos</p> 	Sólido	<p>Masa:22.8466 kg</p> <p>Volumen:0.00291039 m<sup>3</sup></p> <p>Densidad:7850 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Peso:223.897 N</p>

## **b. CARGAS Y SUJECIONES APLICADAS A LA ESTRUCTURA METÁLICA**

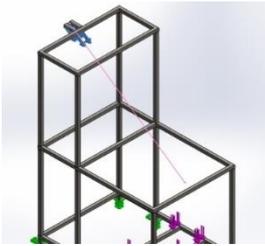
La primera carga aplicada es el peso total del horno que es de 1000 N sobre la base que consta de dos tubos cuadrados, por lo que se debe analizar esta fuerza la que se encuentra ilustrada en la **Tabla 2.3.**

**Tabla 2.3. Fuerza aplicada por el horno sobre la base de la estructura.**

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza aplicada por el peso total del horno		<b>Entidades:</b> 2 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 1000 N <b>Ángulo de fase:</b> 0 <b>Unidades:</b> deg

La segunda carga es la aplicada por la acción del cilindro neumático al abrir la tapa del horno cuyo valor es de -187.51 N, el signo negativo significa que la carga es aplicada hacia arriba en un ángulo de  $60^\circ$ , ilustrada en la **Tabla 2.4**.

**Tabla 2.4. Fuerza aplicada por el cilindro neumático para la apertura de la tapa.**

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza aplicada por la acción del cilindro neumático		<b>Entidades:</b> 2 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza <b>Valores:</b> -187.51 N <b>Ángulo de fase:</b> 0 <b>Unidades:</b> deg

### c. FUERZAS RESULTANTES DEL ANÁLISIS DE LAS CARGAS APLICADAS A LA ESTRUCTURA

A continuación se presentan las fuerzas de reacción a las cargas que se deben aplicar a la estructura como el peso del horno y la acción del cilindro neumático, las resultantes se representan en el plano X, Y y Z por la acción de la carga del cilindro neumático que se aplica a un ángulo de  $60^\circ$ , **Tabla 2.5**.

**Tabla 2.5. Fuerzas de reacción a las cargas aplicadas a la estructura.**

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Toda la estructura metálica	N	-151.64	1110.15	0.0749722	1120.46

El módulo resultante es una fuerza de 1120.46 N la que es mayor a la sumatoria de las fuerzas aplicadas por el peso del horno para tratamientos térmicos y la acción del cilindro neumático al abrir la tapa.

*Peso del horno – fuerza del cilindro < fuerzas de reacción*

$$1000\text{ N} - 187.51\text{ N} < 1120.46\text{ N}$$

$$812.49\text{ N} < 1120.46\text{ N}$$

Entonces si las fuerzas de reacción son mayores a las cargas que se aplican sobre la estructura, ya sean estas el peso del horno y la fuerza que ejecuta el cilindro al abrir la tapa, quiere decir que la estructura tolera las cargas sin doblarse o romperse.

### 2.3.5. MATERIAL UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Una vez realizado el análisis en el software de Análisis para Diseño Mecánico y aplicando la simulación de esfuerzos a los que se someterá la estructura físicamente en la que se utilizó un tubo cuadrado ASTM A36 de acero de 20 X 20 mm se decidió utilizar un tubo de mayor dimensiones para asegurar el correcto funcionamiento de la estructura y que no ceda por algún motivo ajeno a los cálculos realizados ya que la diferencia de las fuerzas aplicadas y las fuerzas de reacción es de 307.97 N.

El tubo seleccionado es del catálogo de “DIPAC” por la facilidad de encontrar un tubo cuadrado ASTM A-500 de recubrimiento galvanizado, de un largo total de 6m y

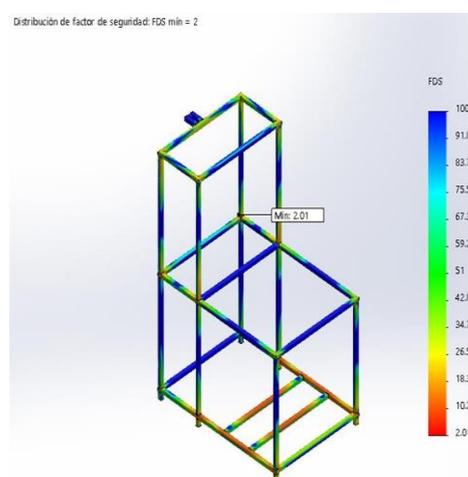
un espesor de 2.0 mm, peso = 1.78 Kg/m en el medio cuyas propiedades se muestran en la **Tabla 2.6**.

**Tabla 2.6. Propiedades estructurales del tubo cuadrado (DIPAC).**

PROPIEDADES ESTRUCTURALES DEL TUBO CUADRADO		
Denominación	Valor	Unidad
Módulo de elasticidad (E)	$2.2 \times 10^6$	$\frac{Kg}{cm^2}$
Resistencia a la Fluencia (Sy)	2536	$\frac{Kg}{cm^2}$
Área (A)	5.33	$cm^2$
Peso aproximado (W)	4.18	$\frac{Kg}{m}$
Propiedades del eje "x"=propiedades del eje "y"		
Inercia (Ix=Iy)	14.13	$cm^4$
Módulo de sección (Zx=Zy)	5.65	$cm^3$
Radio de giro (rx=ry)	1.94	$cm$

### 2.3.6. ENSAYO DE DEFORMACIONES TOTALES Y FACTOR DE DISEÑO

La determinación de las deformaciones totales y el factor de diseño de la estructura para el soporte del horno se muestran en el **Anexo E** en base a factores de diseño para estructuras. El factor de diseño obtenido mediante software es de 2.0 como muestra la **Figura 2.22**, el cual se encuentra dentro de los parámetros de factores de diseño para estructuras bajo cargas estáticas que es de  $n_d = 1,25$  a 2.0, lo que concluiría que el diseño se encuentra aceptable. [14]



**Figura 2.22. Factor de diseño resultante para la estructura.**

## 2.4. DISEÑO ELÉCTRICO

Se necesita mantener el control de temperatura del Horno Paragon Toch in Fire por lo que hay que realizar un selector entre el control dicho anteriormente y el control de temperatura para tratamientos térmicos.

### 2.4.1. PARÁMETROS DE DISEÑO

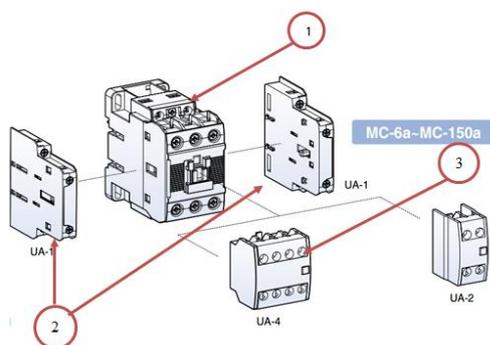
Para realizar lo dicho anteriormente se necesita controlar el encendido y apagado de una corriente de 17 Amperios que circula por cada par de resistencias calefactoras que sumadas en serie es igual a 34 amperios para el calentamiento del horno, esto se realiza mediante un contactor con una capacidad mayor a esta corriente.

Con ello se puede elegir el control a utilizar en el horno y así el tipo de tratamiento que se desea realizar, ya sea para cerámica o para aceros. En el interior del horno se encuentran dos pares de resistencias conectadas en serie cada par y activadas por dos relés respectivamente, lo que se desea es abrir el circuito entre los relés y las resistencias eléctricas para situar el contactor “LS” de 18 amperios como se muestra en la **Figura 2.23**.



**Figura 2.23. Contactor LG modelo LS de 25 Amperios AC1.**

Fuente: Metasol Contactors and Overload relays, LISIS



**Figura 2.24. Accesorios para el contactor Metasol.**

Fuente: Metasol Contactors and Overload relays, LISIS

En la **Figura 2.24**, se muestran los accesorios para el contactor LG modelo LS de 25 Amperios, únicamente se utilizó el contactor (1), unidad interlock (2) y la unidad de contactos auxiliares para montar al frente (3); esta última porque se necesita cuatro contactos normalmente abiertos (NO) y cuatro normalmente cerrados (NC).

#### a. CARACTERÍSTICAS DEL CONTACTOR

Las características del contactor utilizado en este proyecto se detallan en la siguiente **Tabla 2.7**.

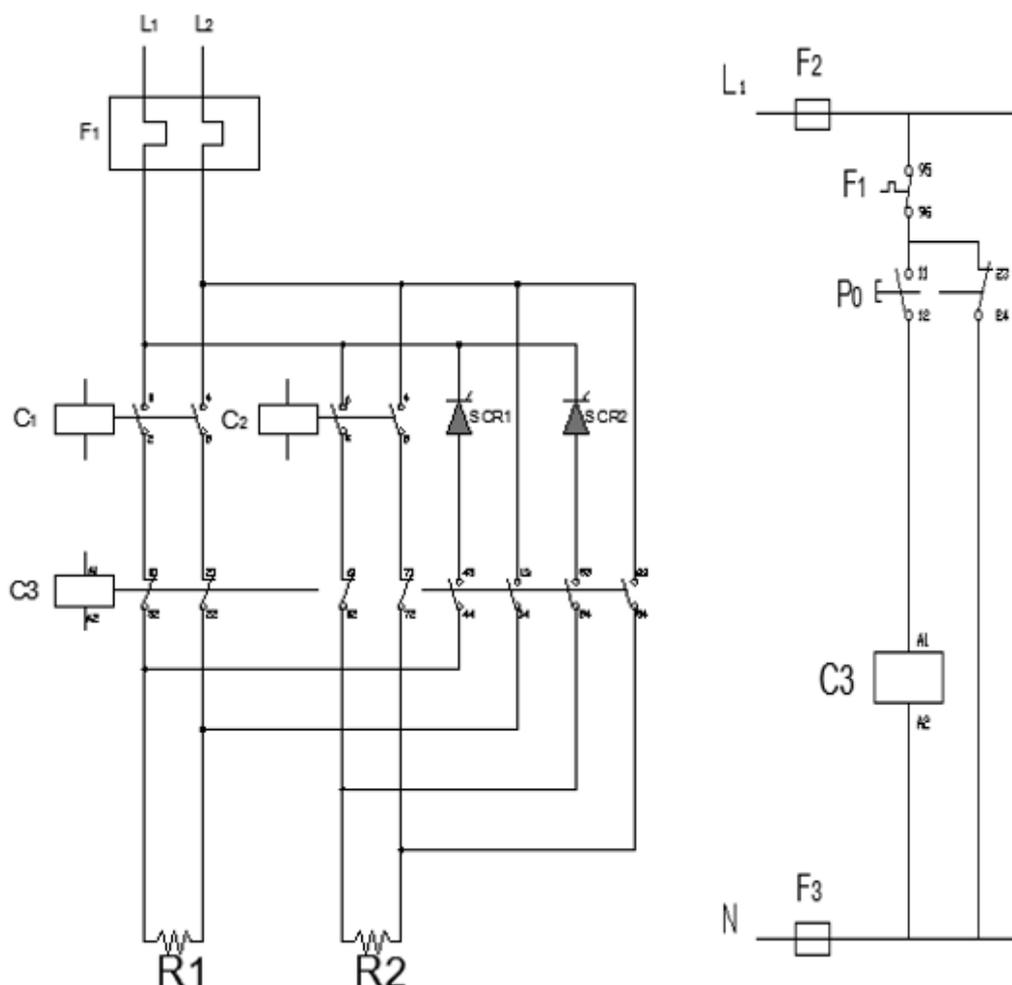
**Tabla 2.7. Características del Contactor.**

<b>CARACTERÍSTICAS DE CONTACTOR</b>	
<b>Contactor LG modelo LS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contacto principal 3 polos NO</li> <li>• Montable en riel DIN</li> <li>• Control AC a 220V y 60 Hz a la bobina.</li> <li>• Contactos auxiliares para resistencias eléctricas <math>AC1=I_{th}= 40</math> Amperios, 3.5 KW.</li> <li>• 1 NO y 1 NC contactos auxiliares de construcción estándar.</li> <li>• Con una unidad de contactos auxiliares al lado izquierdo (UA-1).</li> <li>• Cadencia máxima de ciclos de maniobras por hora = 1800 operaciones/h.</li> <li>• Vida útil 15 mil operaciones.</li> </ul>
<b>Unidad De Contactos Auxiliares UA-4 2a2b.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 contactos NO (normalmente abiertos) y 2 contactos NC (normalmente cerrados).</li> <li>• <math>AC1=I_{th}= 40</math> Amperios, 3.5 KW.</li> </ul>

Fuente: Metasol Contactors and Overload relays, LISIS.

## b. CONEXIÓN DEL CONTACTOR

A continuación se detalla el circuito de potencia y control constituido por un relé térmico de 50 Amperios (F1), el contactor LG modelo LS de 25 Amperios AC1 cuya bobina representada por C3; las bobinas C1 y C2, como se muestra en la **Figura 2.25**.



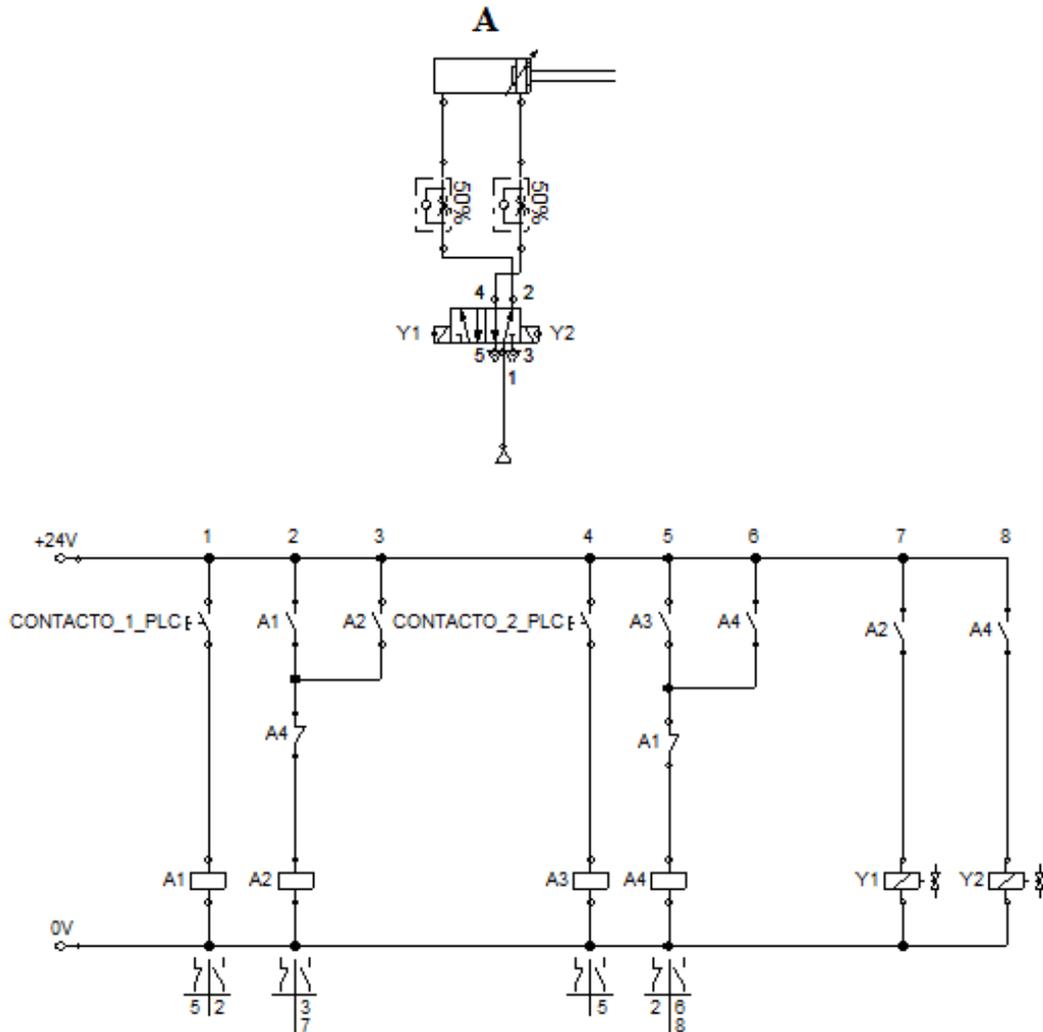
**Figura 2.25. Diagrama de potencia y control de la conexión entre el contactor y las resistencias calefactoras.**

El control del circuito de potencia se realiza mediante un pulsador (P0) con dos contactos, abierto y cerrado, cuando se encuentra en la posición OFF funciona el control para la cocción de piezas cerámicas y cuando se encuentra en la posición ON se desactiva únicamente a las resistencias calefactoras y se procede con el control para tratamientos térmicos de aceros, las resistencias son accionadas por los relés de estado sólido comandados por el control de temperatura descrito más adelante.



### 2.4.3. DIAGRAMA DE CONTROL PARA EL ACCIONAMIENTO DEL CILINDRO NEUMÁTICO

A continuación en la **Figura 2.27**, se muestra el diagrama de conexiones para el accionamiento del cilindro neumático mediante una electroválvula 5/2 doble pilotaje.



**Figura 2.27. Diagrama de conexiones para el accionamiento del cilindro neumático.**

### 2.4.4. CONTROL DE ENCENDIDO APAGADO

Cuando se conecta un interruptor entre la fuente de corriente alterna (CA) y la carga, se puede controlar el flujo de potencia haciendo variar el valor rms del voltaje de CA aplicado a la carga, y a este tipo de circuito de potencia se le llama controlador

de voltaje de CA. Las aplicaciones más comunes de los controladores de voltaje de CA son: calefacción industrial, cambio de conexión de transformador con carga, controles de alumbrado, control de velocidad de motores polifásicos de inducción y controles de electroimanes de CA. Para la transferencia de potencia se usan, en el caso normal, dos tipos de control:

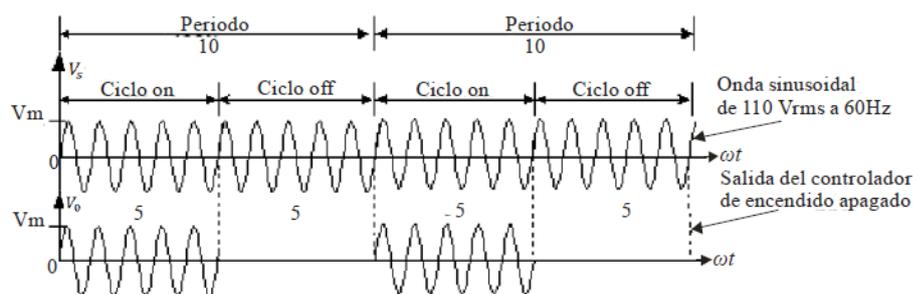
**Control por ángulo de fase:** en el control por ángulo de fase, los interruptores conectan la carga con la fuente de CA durante una parte de cada ciclo de voltaje de entrada. En el control de encendido apagado, los interruptores conectan la carga a la fuente de CA durante algunos ciclos de voltaje de entrada y lo desconectan durante otros ciclos. El control de encendido apagado se usa en aplicaciones con una gran inercia mecánica y una constante alza de tiempo térmico (como en calefacción industrial). Debido a la conmutación a voltaje cero y corriente cero de los interruptores, se reducen las armónicas generadas por las acciones de conmutación [24].

Para un voltaje sinusoidal de entrada  $v_s = V_m \sin \omega t = \sqrt{2}V_s \sin \omega t$ . El voltaje de entrada se conecta a la carga durante  $n$  ciclos y se desconecta durante  $m$  ciclos, donde la suma de  $m$  y  $n$  es, en general alrededor de 100 ciclos, y el voltaje rms de salida (o de carga) se puede determinar cómo sigue [24]:

$$V_0 = \frac{v_s}{\sqrt{m+n}} \sqrt{n} = V_s \sqrt{k}$$

Dónde  $k = \frac{n}{m+n}$  y  $k$  se llama ciclo de trabajo, el voltaje rms de fase es  $V_s$ .

Si por ejemplo se utiliza un período de 10 ciclos y se desea que el interruptor esté 5 ciclos abierto (ciclo on) y 5 ciclos cerrado (ciclo off), se comportará como se muestra en la **Figura 2.28**.

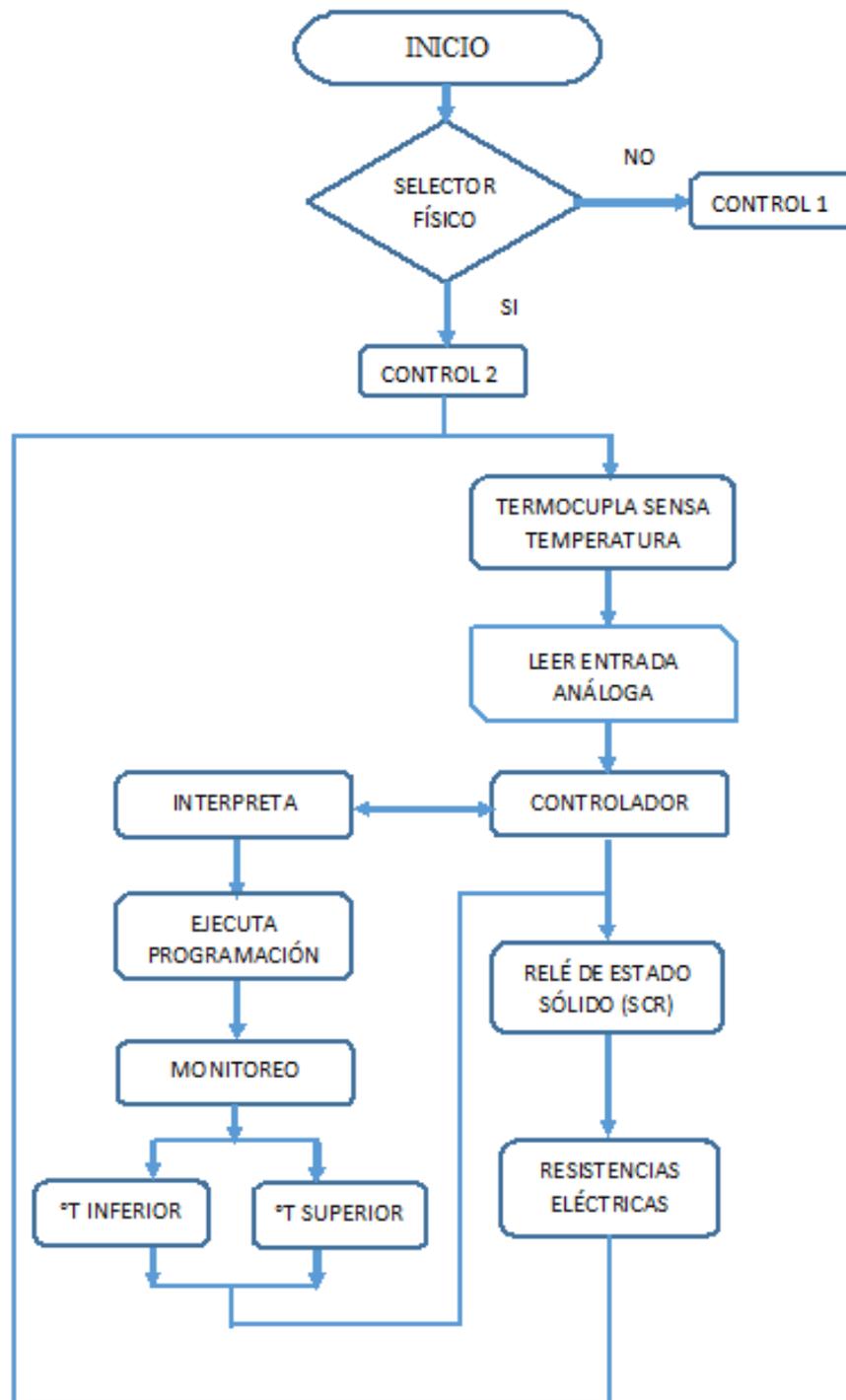


**Figura 2.28. Control encendido-apagado.**

Fuente: <http://automatica.mex.tl/imagesnew/5/0/1/4/2/Presentaci%C3%B3n%20P.L.C.pdf> [9]

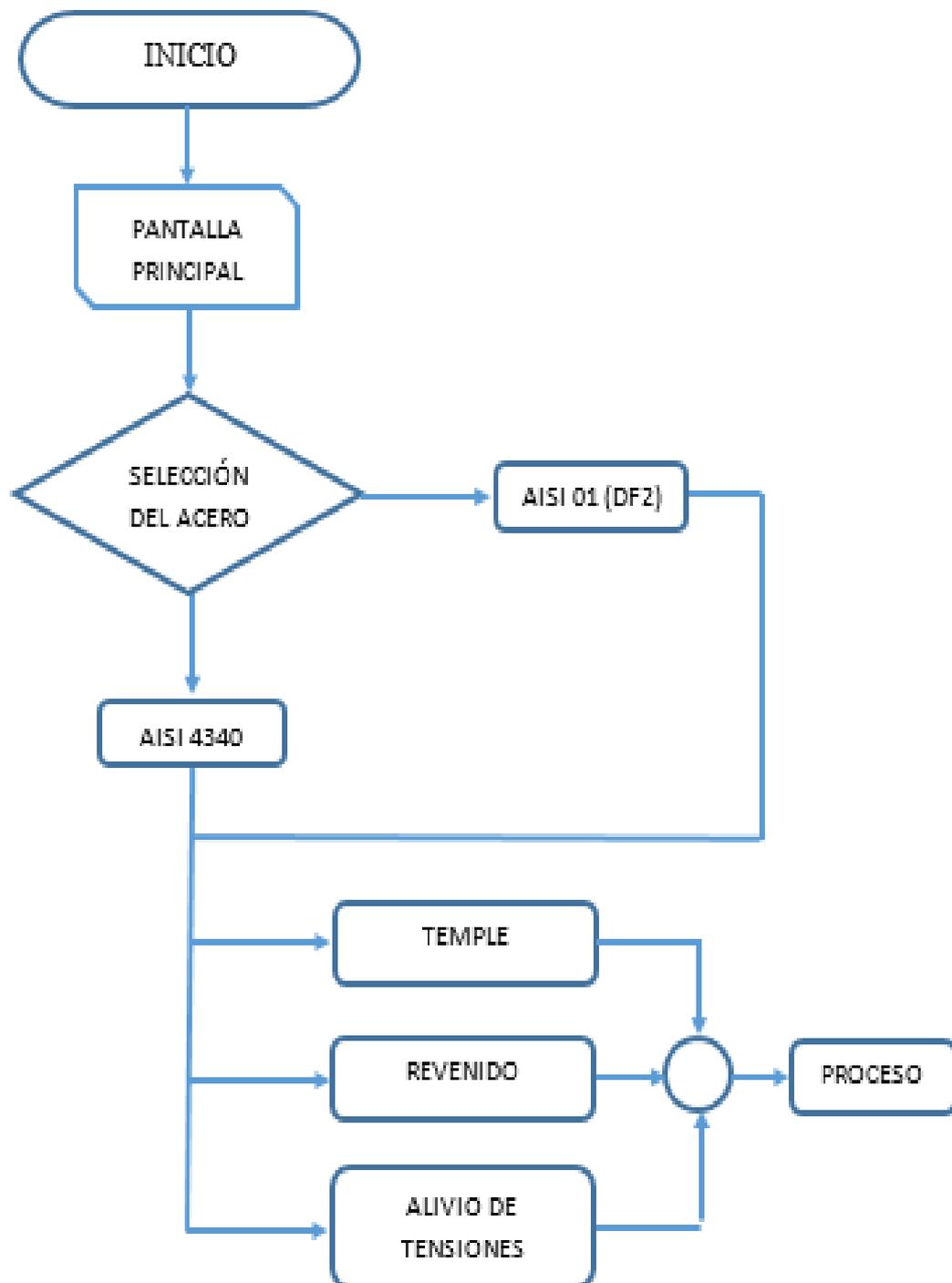
### 2.4.5. DIAGRAMAS DE FLUJO

La **Figura 2.29**, muestra de manera clara y concisa el flujograma del funcionamiento y las tareas que se ejecutan para que se llegue a obtener el control del sistema de temperatura del horno para tratamientos térmicos de piezas metálicas.



**Figura 2.29.** Flujograma del funcionamiento para el control de temperatura.

En la **Figura 2.30**, muestra el diagrama de flujo de las operaciones que se ejecutan en la pantalla HMI, para la configuración de los modos de control y sus constantes e intercambio de datos con el controlador.



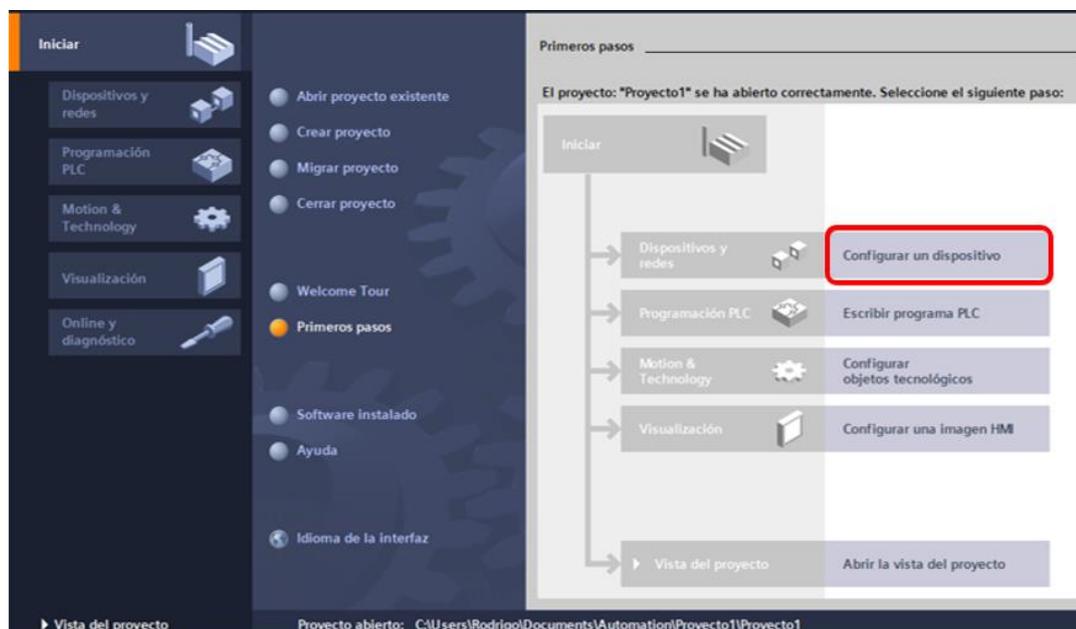
**Figura 2.30.** Diagrama de flujo de las operaciones de la pantalla HMI.

## 2.5. CONFIGURACIÓN DEL PLC SIEMENS S7-1200

El PLC elegido es un S7-1200 1212c, cuyas características se especifica en el capítulo 1, éste es un programador lógico capaz de abordar tareas de automatización más complejas, dispone de mayor capacidad de entradas y salidas, tanto análogas como digitales. Se eligió el mismo ya que se puede integrar una entrada análoga de termocupla de cualquier tipo con comunicación directa con el equipo, gracias a ello se evita realizar un acondicionamiento individual lo que conllevaría una lectura inexacta si se elabora de forma errónea. Este PLC ofrece la capacidad de programar un HMI a través de una pantalla touch, y en los dos equipos se usa la misma plataforma para programarlos como es el software TIA Portal, con una comunicación es vía Ethernet.

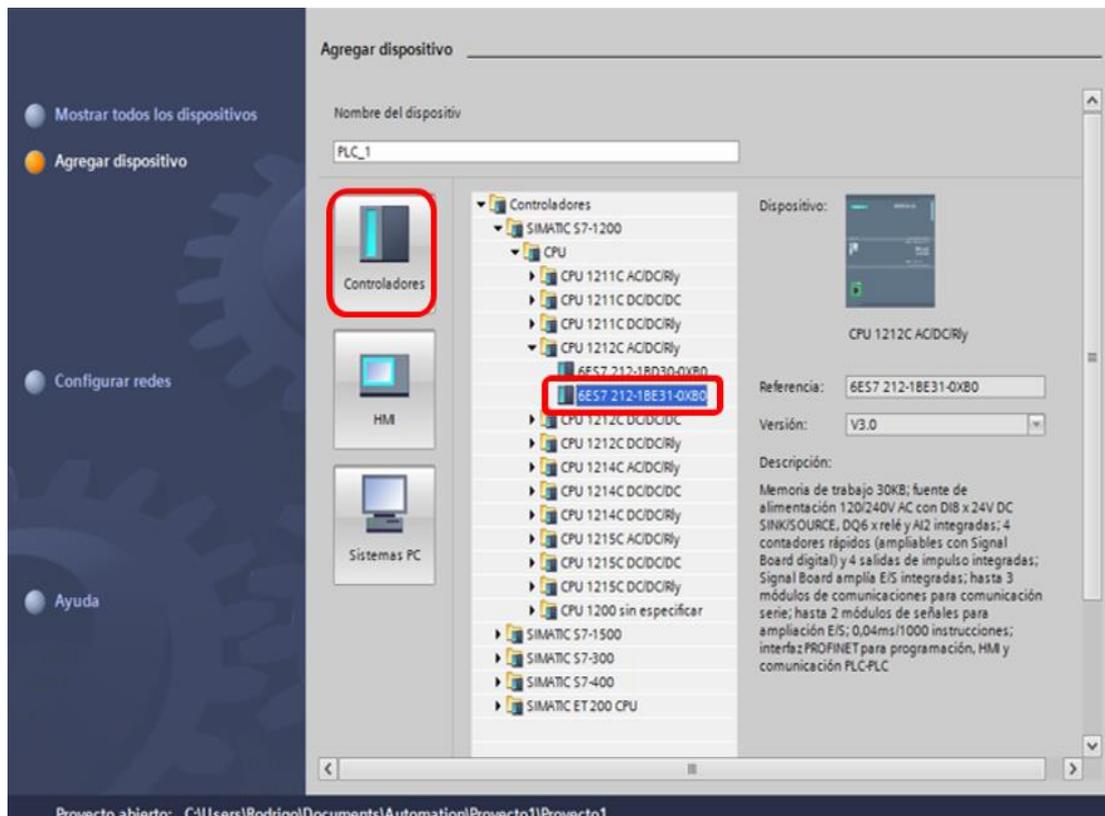
A continuación se explica cómo realizar la configuración del PLC para poder empezar con la conexión, comunicación entre PLC, pantalla HMI y PC, para posteriormente elaborar la programación encargada de controlar la planta de tratamiento térmico.

1. Como se muestra en la **Figura 2.31**, aquí se tiene las siguientes opciones: Configurar un dispositivo, Escribir programa PLC y Configurar una imagen HMI. Se inicia por lo básico, configurando el hardware del equipo para lo que se debe seleccionar “Configurar un dispositivo”.



**Figura 2.31. Configuración del dispositivo.**

2. Seleccionar CPU: En la pestaña Agregar dispositivo aparecerán dos opciones: Controladores, HMI y Sistemas PC. Clic al botón de Controladores y se desplegará en la ventana de la derecha una tabla, seleccionar la CPU adquirida donde en la parte de la derecha aparecerá la descripción de la misma y agregarla presionando el botón Agregar como se muestra en la **Figura 2.32**.



**Figura 2.32. Selección del CPU.**

3. Agregar módulos: Ahora se añaden los módulos que se estén utilizando físicamente: módulos de I/O, módulos de comunicación, etc. Esto se logra seleccionando del catálogo de la derecha, los módulos correspondientes y se irán arrastrando y soltando en su posición correcta como se muestra en la **Figura 2.33**. En el SIMATIC S7-1200 los módulos de comunicación se insertan a la izquierda de la CPU y los módulos de I/O se colocan a la derecha. Como máximo puede haber 3 módulos de comunicación y 8 de I/O. Se debe dar clic en la pestaña “Catálogo de hardware” y aparecerán los módulos para el PLC.

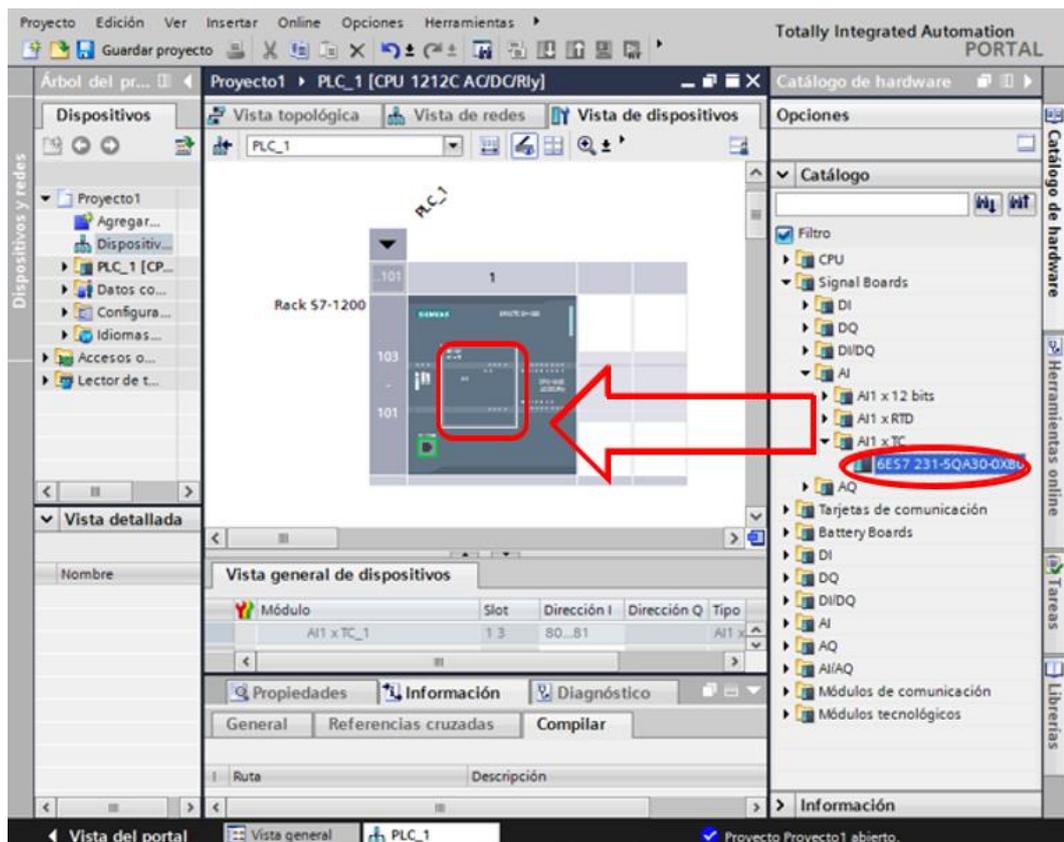


Figura 2.33. Agregar módulos.

- Transferir configuración. Para transferir la configuración se debe seleccionar la CPU para habilitar el icono que es para transferir los datos, pero antes para evitar conflictos de comunicación se debe declarar la dirección IP de la PC, del PLC y también de la pantalla HMI.

**Criterio para Asignar direcciones IP a los dispositivos de programación y red:** La ID de red de la dirección IP y la máscara de subred de la CPU y la tarjeta adaptadora integrada en la PC deberán ser idénticas. Normalmente, la máscara de subred tiene el valor 255.255.255.0. Al combinar la máscara de subred con la dirección IP del dispositivo en una operación.

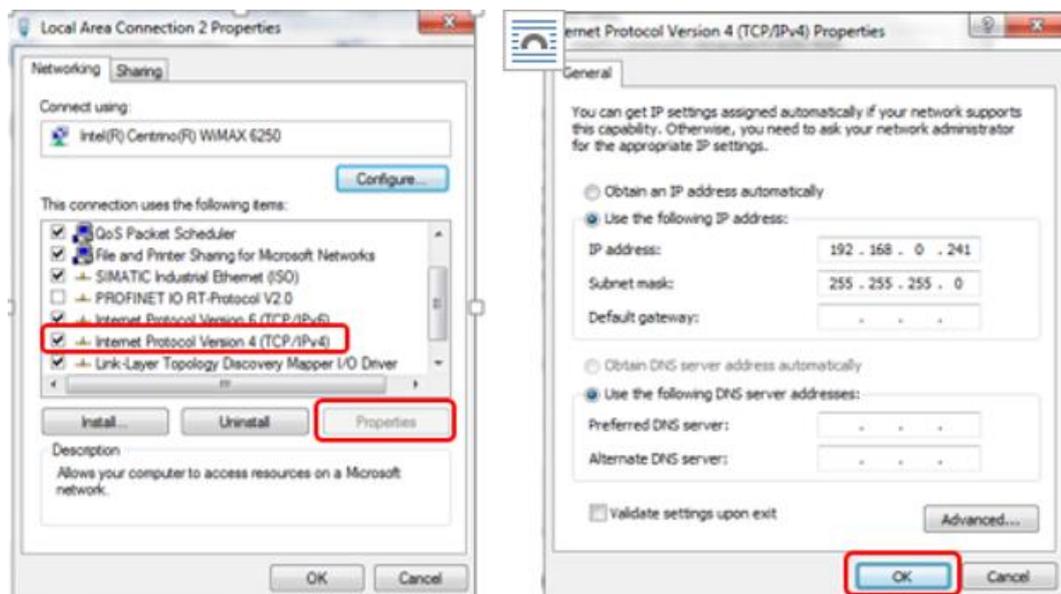
**Dirección IP:** Todo dispositivo debe tener también una dirección IP (Internet Protocol o Protocolo Internet). Esta dirección permite al dispositivo transferir datos a través de una red enrutada.

La primera parte de la dirección IP se utiliza para la ID de red y, la segunda, para la ID del host (unívoca para cada dispositivo de la red). Una dirección IP 192.168.x.y

es una designación estándar reconocida como parte de una red privada que no se enruta vía internet.

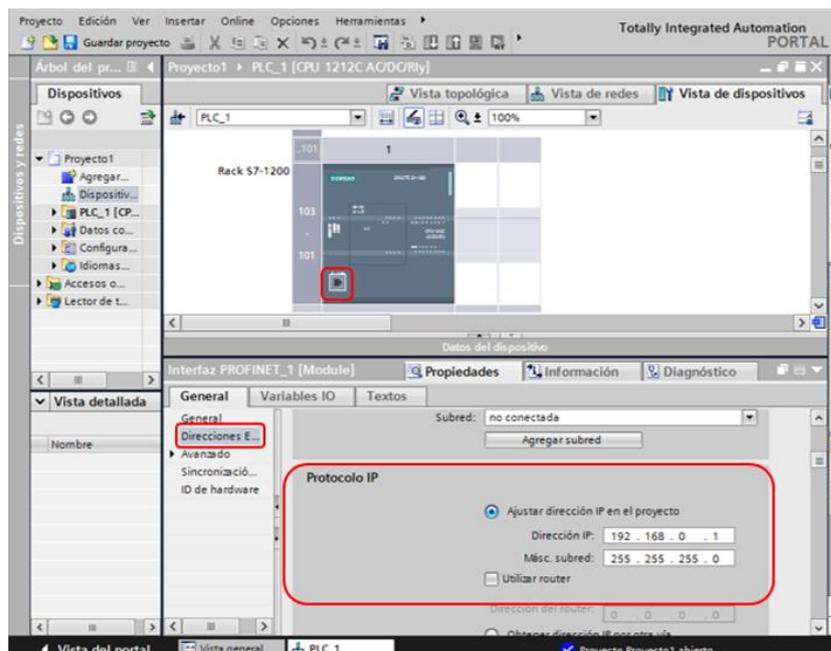
**Máscara de subred:** Una subred es una agrupación lógica de dispositivos de red conectados. Los nodos de una subred están próximos físicamente en una red de área local (LAN). Una máscara define los límites de una subred IP. Esto significa que los 3 primeros octetos de todas las direcciones IP de esta red deberían ser iguales. Por ejemplo, es posible asignar la máscara de subred 255.255.255.0 y direcciones IP comprendidas entre 192.168.2.0 y 192.168.2.255 a los dispositivos de una red local pequeña.

Y al configurar la IP del PC, ingresar la 192.168.0.3 u otra diferente mientras se encuentre dentro del rango de la clase de IP dicha anteriormente como se muestra en la **Figura 2.34**, y además que no coincida con la dirección IP del PLC y tampoco con la de la pantalla HMI.



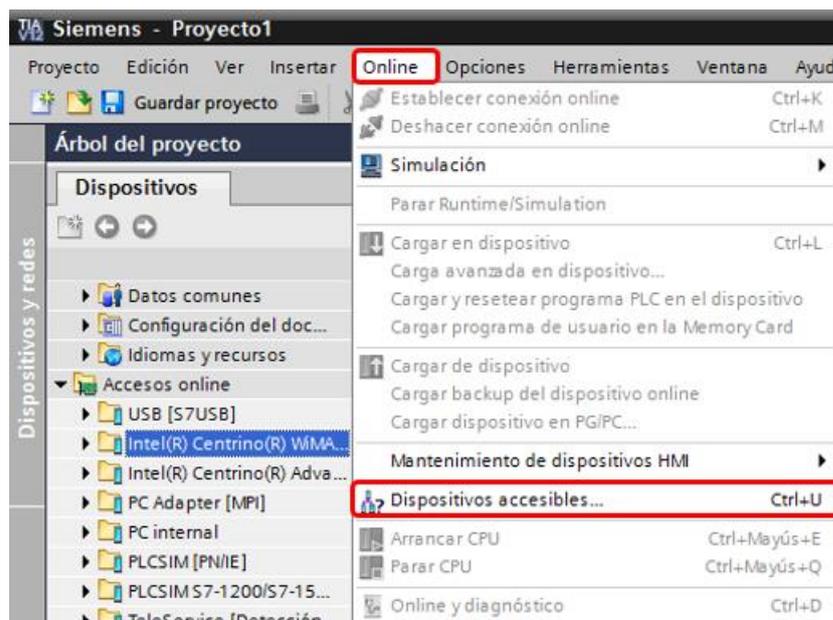
**Figura 2.34.** Asignación de una dirección IP y submáscara de red para la PC.

5. Para poner la dirección IP en el PLC, dar clic sobre la CPU y en la ventana de propiedades en la parte inferior dentro de la opción interfaz PROFINET. Ahí es donde se asigna la IP y la máscara de subred que se requiera para el enlace del PLC como se muestra en la **Figura 2.35**.



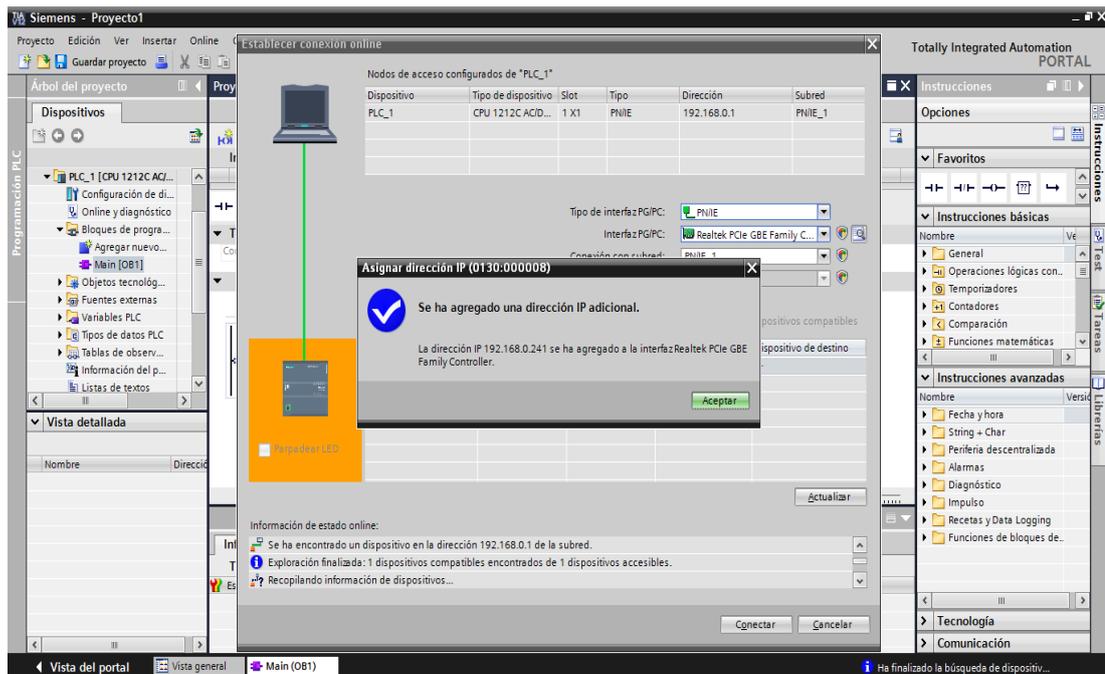
**Figura 2.35. Configuración IP en el PLC.**

Se realiza la comprobación de la comunicación ubicándose en la pestaña “Online” como se muestra en la **Figura 2.36**.



**Figura 2.36. Comprobación de la comunicación “Online”.**

En la siguiente pantalla se muestra la **Figura 2.37**, donde indica los dispositivos conectados, su dirección IP y la MAC. Seleccionar siempre la interfaz correcta del PG/PC, la tarjeta de Ethernet que se esté utilizando.



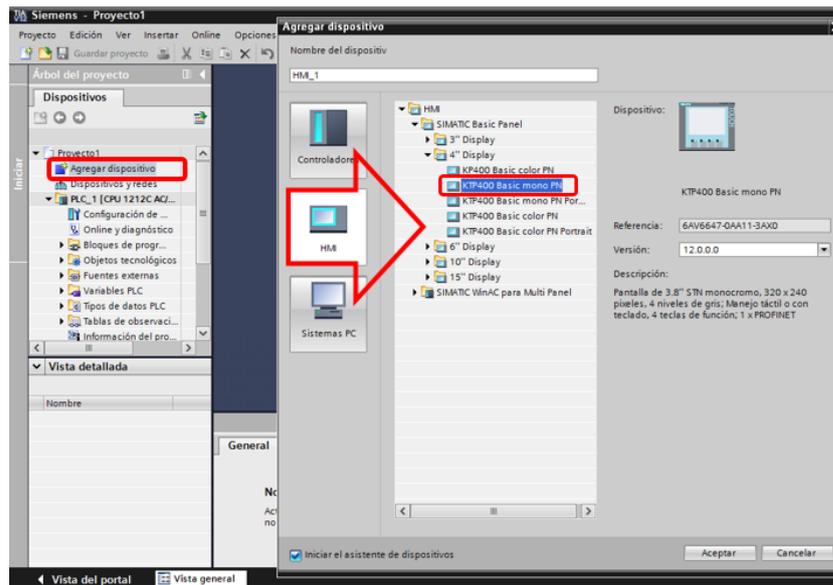
**Figura 2.37. Dispositivos conectados.**

Cuando se haya comprobado la comunicación entre dispositivos se puede cargar o descargar programaciones realizadas desde o hacia el PLC.

## 2.6. PROGRAMACIÓN DE LA PANTALLA HMI

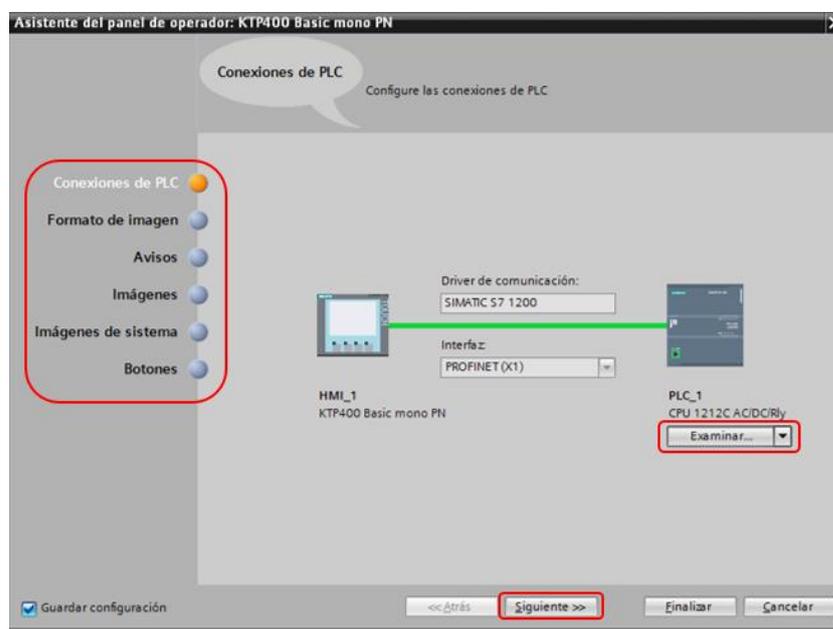
La pantalla elegida es la SIMATIC Basic Panel KP400 PN monocromático, pantalla de 3,8”, táctil y 4 teclas de función, con interfaz PROFINET/Industrial Ethernet, configurable con software TIA PORTAL WinCC V11 o superior. El desarrollo de la interfaz HMI se lo realiza mediante el mismo software TIA Portal, la comunicación es vía Ethernet.

1. Como primer paso hay que realizar la comunicación entre la PC, PLC y la pantalla HMI esto se realiza mediante un Switch Ethernet.
2. Agregar un dispositivo. Para agregar la pantalla HMI se selecciona en el “Árbol de proyecto” en la barra de la derecha del programa “Agregar dispositivo” y aparecerá una ventana donde se elige “HMI” y luego seleccionar el dispositivo adquirido como se muestra en la **Figura 2.38**, y una vez seleccionado se despliega el modelo, versión y la descripción del dispositivo, dar clic en “Aceptar”.



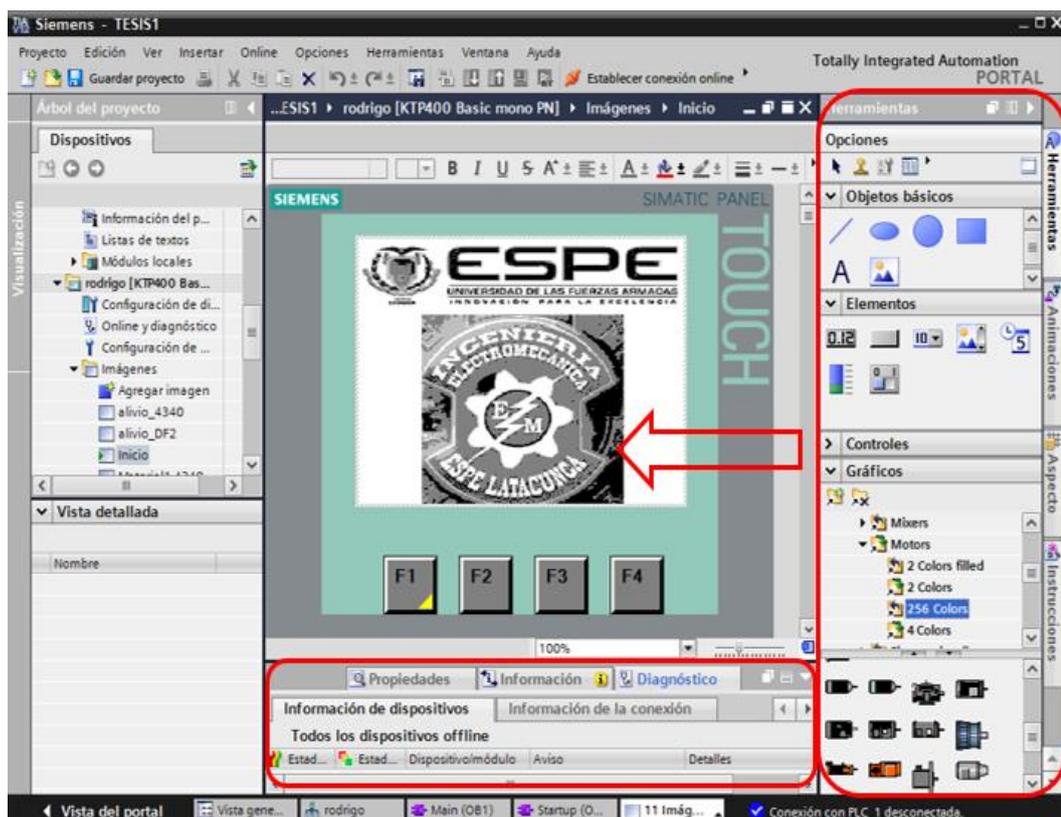
**Figura 2.38. Agregar pantalla HMI.**

3. En la pantalla Asistente del panel de operador la cual hace más fácil la interacción con la programación y el funcionamiento de la pantalla HMI se muestra todas funciones que se puede asignar a la pantalla como se muestra en la **Figura 2.39**, esto se lo puede hacer en esta opción o más adelante como se crea conveniente. En este paso se debe seleccionar el driver de comunicación para ello ubicarse en el botón examinar y seleccionar el dispositivo adquirido y dar clic en “siguiente” y “finalizar”.



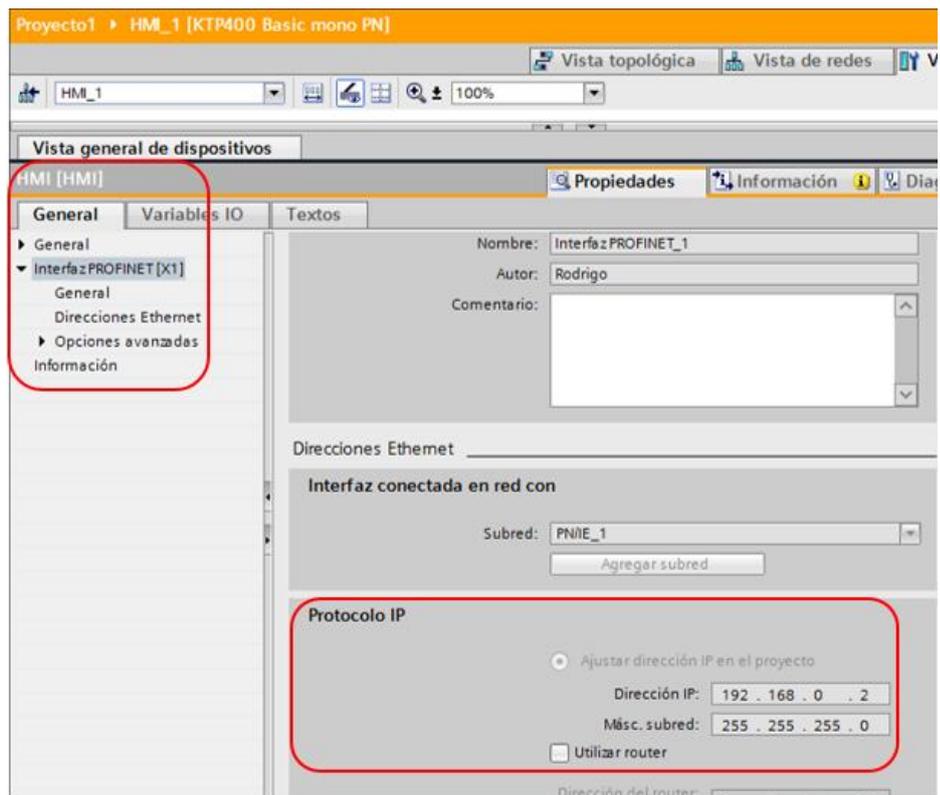
**Figura 2.39. Funciones de la pantalla HMI.**

4. Al finalizar esto se despliega una presentación de la pantalla HMI como se muestra en la **Figura 2.40**, donde se va a programar. A la derecha del software en la barra de “Herramientas” se tiene: objetos básicos, elementos, controles y gráficos de donde se puede elegir una amplia gama de figuras útiles para simular máquinas y herramientas que se utiliza en la industria. Para colocar la imagen en la pantalla únicamente hay que seleccionar y arrastrar a donde se desee. Y en la parte de abajo en propiedades se despliegan las características de las imágenes y los eventos que se les puede asignar de acuerdo a lo que desee el programador.



**Figura 2.40. Presentación de la pantalla HMI.**

5. Ahora para realizar la comunicación con la pantalla físicamente mediante el cable Ethernet se debe asignar una dirección IP a la pantalla para que se puedan comunicar con el PLC esto se realiza ubicándose en las propiedades de la pantalla HMI, “General”, “Interfaz PROFINET [X1]” y a la derecha de las opciones está el Protocolo IP y se asigna la dirección IP y la Máscara de subred como se muestra en la **Figura 2.41**.



**Figura 2.41. Asignación de la dirección IP a la pantalla HMI.**

Y con ello ya se puede realizar la comunicación y por consiguiente la programación de la pantalla HMI correctamente.

## CAPÍTULO 3

### 3. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

##### 3.1.1. IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO ESTRUCTURAL

La estructura se diseñó en base a los parámetros del horno ya que dicho diseño estructural debe soportar el peso y la estructura del horno. El cual se construyó con el tipo de acero ASTM A36 de 20 X 20 mm de espesor como se muestra en la **Figura 3.1** preseleccionado en un software de diseño.



**Figura 3.1. ACERO ASTM A36 de 20 X 20 mm**

La soldadura de dicho acero se realizó con un proceso de suelda por arco eléctrico (SMAW) como se muestra en la **Figura 3.2**, y con el tipo de electrodo adecuado ya que si se utiliza un electrodo que no es para este acero afectará a las propiedades o características del mismo, el tipo de electrodo utilizado en esta construcción es el 6011.



**Figura 3.2. Suelda por arco eléctrico (SMAW).**

Se implementó un recubrimiento con plancha de acero inoxidable de espesor 0.5 milímetros para colocar los equipos de control del horno como se muestra en la **Figura 3.3**.



**Figura 3.3. Recubrimiento con plancha de acero inoxidable.**

### 3.1.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA NEUMÁTICO

#### a. IMPLEMENTACIÓN DE LA UNIDAD DE MANTENIMIENTO NEUMÁTICA

Se implementó la unidad de mantenimiento que se encuentra a un costado de la planta de tratamiento térmico como se muestra en la **Figura 3.4**, para controlar y asegurar el flujo necesario de aire que circula desde el compresor hacia el sistema neumático, ésta unidad de mantenimiento controla e indica la presión de aire que está suministrando el compresor a la electroválvula.



**Figura 3.4. Unidad de mantenimiento neumática.**

## **b. IMPLEMENTACIÓN DE LA ELECTROVÁLVULA DE DOBLE PILOTAJE**

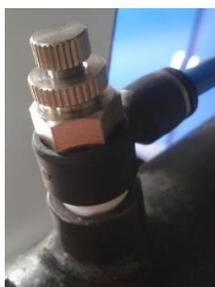
Se implementó este tipo de electroválvula como se muestra en la **Figura 3.5**, ya que es necesario para controlar el funcionamiento en los dos sentidos del cilindro neumático que actúa para levantar la tapa del horno, lleva consigo dos disipadores (silenciadores) de aire, y el momento en el que actúa la electroválvula no produzca un ruido fuerte, la manguera que llega a la electroválvula por la parte inferior proveniente del compresor pasando por la unidad de mantenimiento, del mismo modo las dos mangueras que salen por la parte superior de la electroválvula envían el aire a las válvulas de estrangulación de aire.



**Figura 3.5. Electroválvula de doble pilotaje.**

## **c. IMPLEMENTACIÓN DE LA VÁLVULA DE ESTRANGULACIÓN DE AIRE**

Se implementó este tipo de válvula debido a que se debe regular el flujo de aire que existe desde el compresor hacia el pistón pasando por los equipos antes mencionados como se muestra en la **Figura 3.6**, y este actúe en forma controlada y alargue la vida útil del mismo así como también de la tapa del horno utilizado.



**Figura 3.6. Válvula de estrangulación de aire.**

#### d. IMPLEMENTACIÓN DEL PISTÓN NEUMÁTICO

Se implementó este tipo de pistón que se encuentra sujeto en los dos extremos, uno de los extremos se encuentra empernado a la base fija de la estructura metálica como se muestra en la **Figura 3.7**, del mismo modo es alimentado por las líneas de aire en sus dos extremos que sirven para extraer y contraer el émbolo del pistón para levantar y cerrar la tapa que está anclada por la parte superior e inferior de la misma.



**Figura 3.7. Pistón neumático.**

#### 3.1.3. IMPLEMENTACIÓN DE LOS EQUIPOS DE AUTOMATIZACIÓN

##### a. IMPLEMENTACIÓN DE LA TERMOCUPLA TIPO K

Se implementó la termocupla tipo K que se encuentra al costado del horno y a la altura necesaria para tomar datos lo más cerca de lo real, como se muestra en la **Figura 3.8**, se seleccionó la termocupla tipo K debido a las características de la misma y las condiciones de trabajo en las que va a trabajar.



**Figura 3.8. Termocupla tipo K.**

## b. IMPLEMENTACIÓN DEL PLC SIEMENS S7-1200

**PLC Siemens S7-1200 1212 AC/DC/RLY:** Se implementó el PLC S7-1200 AC/DC/RLY encargado del control de toda la planta de tratamiento térmico, éste actúa a través de programación en lenguaje LADER elaborado en el software del propio equipo.

PLC Siemens S7-1200 **Figura 3.9**, es un controlador lógico programable de tipo compacto, dispositivo de vital importancia para el proceso, pues realiza las funciones de control y además gestiona la comunicación con la pantalla HMI para el monitoreo del sistema.



**Figura 3.9. PLC Siemens S7-1200 1212C AC/DC/RLY.**

Fuente: Siemens simatic S7-1200

**Características principales del PLC:** Las características más importantes del PLC se detallan a continuación en la **Tabla 3.1**.

**Tabla 3.1. Características del PLC.**

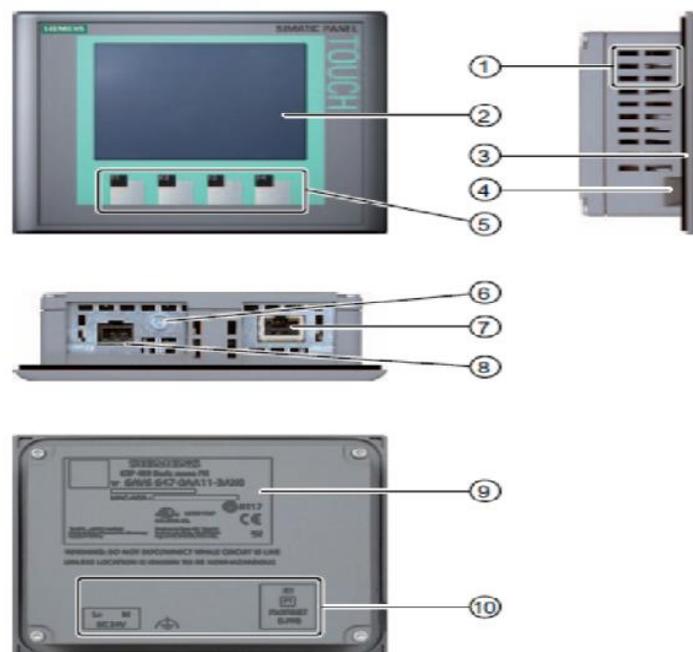
Datos Técnicos	CPU 1212C AC/DC/relé
<b>Consumo de corriente de las entradas digitales (24 V DC)</b>	4 mA/entrada utilizada
<b>E/S digitales integradas</b>	8 entradas/6 salidas
<b>E/S analógicas integradas</b>	2 entradas (0-10VDC)
<b>Ampliación con SB, CB o BB</b>	1 máx
<b>Comunicación</b>	Ethernet
<b>Alimentación</b>	110 – 220 V AC

Fuente: Siemens simatic S7-1200

### c. IMPLEMENTACIÓN DE LA TOUCH PANEL SIEMENS KTP-400

El propósito de la implementación de la touch panel como se muestra en la **Figura 3.10**, es la de crear un HMI amigable con el medio además de poder visualizar la temperatura a la que está el horno para el tratamiento térmico que se decida hacer.

La KTP400 Basic mono PN con su peso aproximado de 320 g fue seleccionada para el desarrollo de este proyecto, por su reducido costo y por todas las capacidades que nos brinda que son suficientes para el desarrollo de nuestro proyecto. Posee cuatro niveles de gris y permite la regulación de contraste, la pantalla es del tipo LCD mono FSTN y una garantía hasta 30.000 horas de uso. Posee además cuatro teclas de función programables mediante software. La conexión la realiza mediante PROFINET he ahí las sigla PN, su conector es RJ45 y la velocidad de transferencia es 10/100 Mbit/s. Su tensión nominal de trabajo es de + 24 VCD con una tolerancia de  $\pm 20\%$  (19.2V a 28.8V). Y permite programar hasta con 128 variables, que pueden ser distribuidas en 50 pantallas.



**Figura 3.10. Touch Panel Siemens KTP-400 Monocromática.**

Fuente: Siemens simatic S7-1200

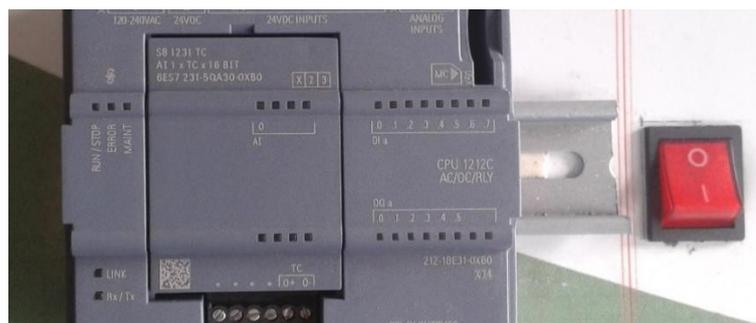
Partes de la pantalla KTP 400 ilustradas en la **Figura 3.10**.

1. Escotaduras para mordazas de fijación

2. Display / Pantalla táctil
3. Junta de montaje
4. Guía para las tiras rotuladas
5. Teclas de función
6. Conexión para tierra funcional
7. Interfaz PROFINET
8. Conexión para la fuente de alimentación
9. Placa de características 10. Nombre del puerto

#### d. IMPLEMENTACIÓN DE LOS SWITCH SELECTORES DE CONTROLES DE TEMPERATURA Y ENCENDIDO DE EQUIPOS

Estos equipos se implementaron para seleccionar el control que se desea tener en el horno ya que tiene dos controles de temperatura, control uno (control propio del horno) y control 2 (control para tratamiento térmico) y además para encender los equipos de control y automatización de forma segura como se muestra en la **Figura 3.11.**

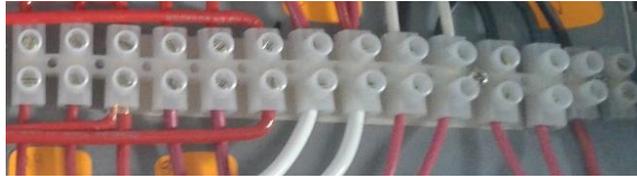


**Figura 3.11.** Switch selectores de controles de temperatura y encendido de equipos.

#### e. IMPLEMENTACIÓN DE LAS BORNERAS PARA EL CABLEADO ELÉCTRICO

Se implementó las borneras para asegurar la conexión del cableado para que estas no fallen en el momento que esté funcionando el proceso, como se muestra en la **Figura 3.12**, se seleccionó de acuerdo al diámetro o calibre del conductor utilizado para cada equipo, del mismo modo se seleccionó el cable basados en la corriente y el

voltaje que circulan por el circuito eléctrico y basados en la norma de conductores eléctricos AWG.



**Figura 3.12. Borneras para el cableado eléctrico.**

#### **f. IMPLEMENTACIÓN DEL CONTACTOR Y AUXILIARES DEL CONTACTOR**

Se implementó el contactor y sus auxiliares de contactor como se muestra en la **Figura 3.13**, para poder conectar los elementos resistivos al nuevo control para tratamientos térmicos en el horno, ya que es necesario que siga funcionando el control para tratamientos cerámicos. El contactor y los auxiliares se adquirieron de acuerdo a los datos de corriente y voltaje que circulan por los equipos, una corriente de 17 amperios por cada par de resistencias conectadas en paralelo a 220 voltios.



**Figura 3.13. Contactor y auxiliares del contactor.**

#### **g. IMPLEMENTACIÓN DE FUSIBLES PARA LA PROTECCIÓN DE EQUIPOS**

Se implementó los fusibles con la única finalidad de proteger los equipos de automatización y control, las características de los mismos se pusieron de acuerdo a la suma de corrientes que dan todos los equipos, que suman 2.8A por lo tanto los fusibles son de 5 amperios como se muestra en la **Figura 3.14**.



**Figura 3.14. Fusibles para la protección de equipos.**

#### **h. IMPLEMENTACIÓN DE LOS RELÉS DE ESTADO SÓLIDO**

Se implementó estos equipos de accionamiento rápido utilizados para la operación con cargas netamente resistivas con señales de control, estas pueden ser en AC/DC como se muestra en la **Figura 3.15**, del mismo modo se seleccionó de acuerdo a los parámetros de corriente y voltaje que se tiene en la máquina, el equipo dispone de las siguientes características como se muestra en la **Tabla 3.2**.

**Tabla 3.2. Características relé de estado sólido.**

Type	Terminal Type		
<b>Model</b>	SSR-10DA	SSR-25DA	SSR-40DA
<b>Rated Load Current</b>	10A	25A	40A
<b>Input Data</b>			
<b>Operating Voltage</b>	3~32VDC		
<b>Min. ON/OFF Voltage</b>	ON > 2.4V , OFF < 1.0V		
<b>Trigger Current</b>	7.5mA / 12V		
<b>Control Method</b>	Zero Cross Trigger		
<b>Output Data</b>			
<b>Operating Voltage</b>	24~380VAC		
<b>Min. Back Voltage</b>	600 VAC (Repetive)		
<b>Voltage Drop</b>	1.6V / 25°C		
<b>Max. Durated Current</b>	135A	275A	410A
<b>Leakage Current</b>	3.0mA	3.0mA	3.0mA
<b>Response Time</b>	ON < 10ms , OFF < 10ms		

Fuente: ELÉCTRICAS BC



**Figura 3.15. Relés de estado sólido.**

Fuente: ELÉCTRICAS BC

### **i. IMPLEMENTACIÓN DE LA FUENTE DE PODER LOGO-POWER**

Se implementó la fuente de 2.5 amperios como se muestra en la **Figura 3.16**, ya que esto era necesario para la alimentación de corriente de los equipos como son las bobinas de la electroválvula el PLC y la Touch Panel.



**Figura 3.16. Fuente LOGO.**

Fuente: Siemens simatic S7-1200

### **3.2. DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL PROYECTO**

El sistema mostrado en la **Figura 3.17**, consta de materiales, dispositivos e instrumentos necesarios para llevar a cabo las funciones de control del proceso de temperatura para un horno de tratamientos térmicos para piezas metálicas, los mismos que se describieron en capítulos anteriores; a estos elementos se les va a realizar pruebas de funcionamiento para que el sistema no presente inconvenientes para la culminación del proyecto.



**Figura 3.17. Planta de tratamientos térmicos para piezas metálicas.**

### **3.3. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO**

Para realizar las pruebas de funcionamiento se tomará dos probetas de aceros diferentes, AISI 4340 y AISI 01 (DF2) y se les someterá a tres tipos tratamiento térmico como son el temple, revenido y alivio de tensiones para posteriormente analizarlas y demostrar el correcto funcionamiento del horno.

Se consideró realizar el bonificado a las probetas que son el conjunto de dos tratamientos térmicos, el temple y revenido, este proceso se lo realiza a los metales con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas, especialmente la dureza, la resistencia y la elasticidad. Los materiales a los que se aplica el tratamiento térmico son, el acero y la fundición, formados por hierro y carbono principalmente.

Después que se ha realizado el temple el acero es muy quebradizo o frágil lo que impide su manejo pues se rompe con el mínimo golpe debido a la tensión interior generada por el proceso de endurecimiento. Para contrarrestar la fragilidad se recomienda el revenido del acero. Este proceso hace más tenaz y menos quebradizo el acero aunque pierde algo de dureza. El proceso consiste calentar la probeta hasta la temperatura adecuada la cual depende del tipo de acero (clasificado por su contenido de carbono y aleaciones que contenga el acero), luego de calentar la probeta se debe enfriar en el mismo medio que se utilizó para endurecerla (el mismo horno), y a este conjunto de tratamientos se lo denomina bonificado.

### 3.3.1. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

Los parámetros de funcionamiento del horno para tratamientos térmicos de aceros se muestran en la **Tabla 3.3**.

**Tabla 3.3. Parámetros de funcionamiento.**

<b>Voltaje de alimentación</b>	220V
<b>Corriente de línea</b>	IL = 32 A
<b>Temperatura de calentamiento máxima</b>	1260 °C
<b>Histéresis</b>	± 5 °C
<b>Resistencias eléctricas</b>	7200 VATIOS

### 3.3.2. PRUEBAS EXPERIMENTALES AL SISTEMA

Una vez que se disponga del sistema ya ensamblado, interconectado, configurado y programado de manera correcta, se procede necesaria e indispensable a realizar las pruebas respectivas al sistema por secciones y funcionando completamente. Dentro de estas pruebas se debe comprobar la lectura de temperatura de la sonda, la adquisición de las señales y que sean mostradas en la pantalla HMI, así como las señales que emite el PLC hacia los distintos dispositivos asociados y del correcto funcionamiento de los elementos electro neumático y mecánicos. Todas estas pruebas se las detalla en la **Tabla 3.4**.

Tabla 3.4. Pruebas experimentales del sistema.

PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL SISTEMA		
PRUEBAS	DESCRIPCIÓN	FIGURAS
ENCENDIDO DEL HORNO	<p>Como se dijo anteriormente el horno dispone de un control asociado al tratamiento de materiales cerámicos como se muestra en la <b>Figura 3.18</b>, el cual se desea mantener para que el horno realice el tratamiento para piezas de cerámica y el tratamiento térmico de aceros implementando el control que se describe en este proyecto.</p>	 <p>Figura 3.18. Control del horno que realiza el tratamiento para piezas de cerámica.</p>
	<p>Como primer paso para el encendido del horno se acciona el relé térmico de 50 amperios el que se muestra en la <b>Figura 3.19</b>, el cual se tomó porque las resistencias eléctricas consumen una corriente de 32 amperios y para su correcto funcionamiento el relé debe ser superior y a la vez desconectarse si hubiese un corto circuito.</p>	 <p>Figura 3.19. Relé térmico.</p>
	<p>El siguiente paso es la selección del control que se desea proporcionar con el horno el "CONTROL 1" es el tratamiento cerámico y el "CONTROL 2" es para realizar los tratamientos térmicos de aceros y se selecciona mediante el interruptor que se muestra en la <b>Figura 3.20</b>, finalmente encender los dispositivos para realizar el tratamiento.</p>	 <p>Figura 3.20. Interruptores para el encendido de la planta de tratamientos térmicos.</p>
PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL CONTACTOR	<p>El contactor es el elemento eléctrico encargado de la selección del control que se va a utilizar, éste se acciona con el interruptor selector de "CONTROL 1" y "CONTROL 2" como se muestra en la <b>Figura 3.21</b>, sus contactos soportan una corriente de 40 amperios ya que es el ideal para esta tarea. La prueba se la realiza conectando el voltaje de funcionamiento del contactor que es de 220 V a su bobina y ésta hará que los contactos normalmente abiertos y cerrados cambien su estado.</p>	 <p>Figura 3.21. Contactor de la selección del control.</p>

CONTINÚA →

### PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DE LOS RELÉS DE ESTADO SÓLIDO

Los relés de estado sólido son los encargados de suministrar la corriente a los elementos calefactores (resistencias eléctricas) cuando el PLC le suministre una señal digital de 24 VDC a las entradas del relé y este permitirá el paso de corriente hacia las resistencias, se puede comprobar con una pinza amperimétrica a la salida de la carga y debe marcar los 16 amperios en este caso, o simplemente cuando se encienden los leds que vienen incorporados en el relé de estado sólido significa que está cerrando el circuito como se muestra en la **Figura 3.22**.



**Figura 3.22. Relé de estado sólido activado.**

### PRUEBAS CON EL CABLE DE TRANSMISIÓN DE DATOS

Para poder programar y probar los resultados en línea y verificar su correcto funcionamiento en el sistema implementado se necesita un cable Ethernet Cat 5 ponchado con terminales RJ45, como se muestra en la **Figura 3.23**, ya que el PLC y la pantalla HMI disponen una interfaz PROFINET/Ethernet RJ45 10/100Mbps; para probar este cable se puede proceder de dos maneras, una medir continuidad con un multímetro a cada uno de los terminales del RJ45 entre si y la otra en este caso conectando el PLC y la PC, entrar en línea y verificar la conexión entre los dispositivos y hacer parpadear el led del PLC desde la PC, como se muestra en la **Figura 3.24**, eso significa que la conexión es exitosa entre los dispositivos y que el cable se encuentra en buenas condiciones.



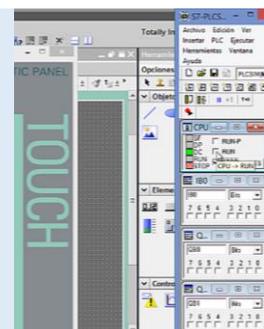
**Figura 3.23. Cable de comunicación Ethernet Cat 5.**



**Figura 3.24. Verificación de la comunicación Ethernet.**

### PRUEBA DEL PROGRAMA DE CONTROL

El programa para la realización del circuito de control ejecutado en el PLC por medio del software de programación se lo iba probando por dos medios, uno fue el programa de simulación que viene incorporado en el paquete de TIA Portal como se muestra en la **Figura 3.25**.



**Figura 3.25. Simulador S7-PLCSIM V12 ejecutándose.**

Éste para observar si las memorias del PLC así como también las salidas y entradas digitales funcionan como el programador desea; la siguiente manera es si ya se tiene el sistema conectado e ir probando que el sistema vaya de acuerdo a lo planeado, ver **Figura 3.26**.



**Figura 3.26. Equipo de control conectado y funcionando.**

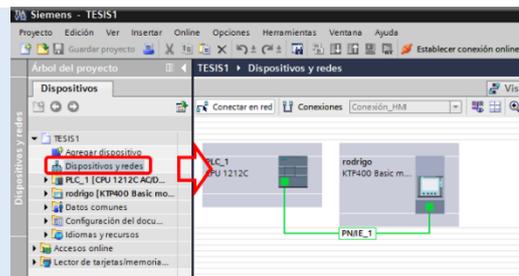
### PRUEBA DE LA COMUNICACIÓN ENTRE EL PLC, HMI Y PC

La conexión entre estos tres dispositivos es necesaria para coordinar el funcionamiento de las variables a supervisar con las acciones que debe tomar el PLC ante la variación de la misma y esto con la interacción hombre máquina que debe mostrar de una forma amigable al operador el funcionamiento del sistema así como de su modificación siendo el caso. Para realizar la conexión es necesario un interruptor Ethernet (Switch Ethernet) mostrado en la **Figura 3.27**, que es el encargado de comunicar dichos dispositivos entre sí.



**Figura 3.27. Switch Ethernet para realizar la comunicación de dispositivos entre sí.**

Una vez realizada la conexión con el interruptor ethernet se verifica la comunicación con el software TIA Portal dando doble clic en la opción de “dispositivos y redes” y a la derecha aparecerán los dispositivos que están conectados y listos para comunicarse entre sí como se muestra en la **Figura 3.28**.



**Figura 3.28. Dispositivos conectados en red (PLC y HMI).**

### PRUEBA DE LA TERMOCUPLA TIPO K

El más usado en la industria debido a su confiabilidad y exactitud de calibración; muy buena respuesta en forma continua hasta 1260°C. Se comporta muy bien en atmósferas oxidantes. El utilizado en este proyecto es un termopar tipo K níquel - cromo vs níquel con un rango de -40 a +1200°C clase 2.

La termopar está ubicada en el interior del horno a través de una de la mirillas que se muestra en la **Figura 3.29**, de tal manera que la junta se encuentre en el mismo lugar donde la probeta está siendo tratada y llegar a leer la temperatura más aproximada.



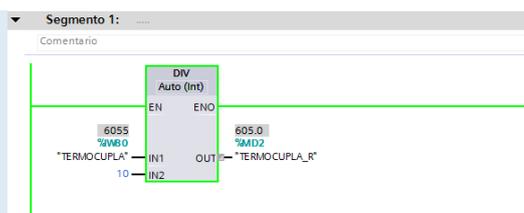
**Figura 3.29. Termocupla dentro del horno ubicada junto a la probeta que está siendo tratada.**

## PRUEBA DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA

Prueba de la obtención del valor de la termocupla de la temperatura a la que se encuentra el horno de tratamientos térmicos. La lectura de la sonda ubicada en el interior del horno se realiza mediante el SB 1221 para termocupla tipo J o K, este módulo está acondicionado para leer el valor real de temperatura del tipo de sonda en el ambiente en el que se encuentra, el signal board está ubicado en el PLC como módulo adicional, ver **Figura 3.30**.



**Figura 3.30. Módulo de entrada analoga para termocupla tipo J o K (SB 1221 TC).**



**Figura 3.31. Vista de la lectura del SB 1221 para termocupla tipo J o K.**

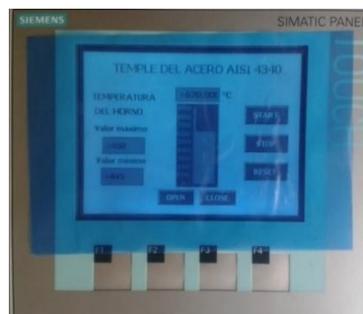
La lectura se la puede realizar mediante el software TIA Portal en el momento de programar como se muestra en la **Figura 3.31**, y para luego programar en la pantalla HMI y poder visualizar la temperatura como se muestra en la **Figura 3.32**.



**Figura 3.32. Vista de la pantalla HMI leyendo la temperatura real del proceso.**

## PRUEBA DE LA INTERFAZ DEL SISTEMA

En la **Figura 3.33**, se muestra la interfaz de usuario en funcionamiento, realizando un temple a un acero AISI 4340, en la que se observa los valores máximos y mínimos de la temperatura en la que debe mantenerse para dar tratamiento de temple a este acero al carbono y también se muestra la temperatura ascendente durante el calentamiento del horno hasta la temperatura de tratamiento térmicos.



**Figura 3.33. Interfaz hombre máquina (HMI).**

### 3.4. PROTOCOLO DE PRUEBAS DEL HORNO Y DEL MATERIAL

Antes de realizar las pruebas tanto del horno como de la probeta, se debe tener en cuenta las siguientes condiciones:

- Despejar el área alrededor del horno ya que éste se calienta mucho cuando llega a los 850°C, temperatura máxima de tratamientos térmicos.
- Se debe tener un compresor o una toma de aire de al menos 6 bares de presión para poder accionar el cilindro neumático y así levantar la tapa del horno para evitar quemaduras.
- Disponer de un equipo de protección (guantes de cuero y gafas) y una pinza de metal para introducir y sacar la probeta del horno.

### 3.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se muestran los resultados obtenidos del control de encendido y apagado a través de la interfaz HMI con la realización de dos tratamientos térmicos a dos tipos de aceros demostrando así que el control de temperatura y el horno se encuentran en condiciones óptimas de operación y para que sea utilizado en cualquier momento, una vez que el sistema quede terminado.

#### 3.5.1. PROCESO DE TEMPLE ACEROS AISI 4340 Y AISI 01

En la **Figura 3.34**, se muestra el control de encendido y apagado en operación, realizando Temple al acero AISI 4340.



**Figura 3.34. Horno para tratamientos térmicos para aceros en funcionamiento.**

Cuando se ha iniciado el tratamiento térmico en este caso un temple al acero AISI 4340 y 01 como ya se especificó en temas anteriores sobre tratamiento térmico de aceros y definido en el **Anexo C**, de acuerdo a las condiciones del material para dar temple a estos dos tipos de aceros debe llegar a una temperatura entre 830 y 850°C, dependiendo el tipo de acero y cuando llegue a esta temperatura debe mantenerse por un tiempo dado, especificado de acuerdo al material y también a la profundidad a la que se desea llegar con el temple sobre la probeta. Al finalizar este tiempo se abre la tapa indicando que el tratamiento ha finalizado e inmediatamente debe enfriar la probeta para concluir con el tratamiento.

### **3.5.2. PROCESO DE REVENIDO Y ALIVIO DE TENSIONES ACEROS AISI 4340 Y AISI 01**

#### **a. PRUEBA DE DUREZA EN LA PROBETA**

La prueba de dureza se utiliza ampliamente para inspección y control. El tratamiento térmico o el trabajo efectuado en una pieza metálica resultan generalmente en un cambio de dureza. Se va a efectuar una prueba o ensayo de dureza Rockwell C con marcador de diamante y 150 kg de carga y se determinará con una probeta sin tratar y con la tratada el cambio en la dureza y se podrá determinar que el horno de tratamientos térmicos funciona de manera correcta.

En la **Figura 3.35**, se observa al durómetro Rockwell y a la probeta realizando el ensayo.



**Figura 3.35. Durómetro Rockwell.**

## b. RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL C

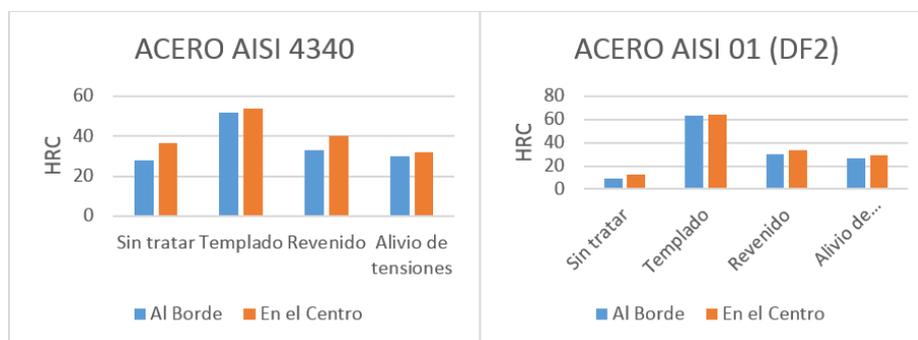
Se realizó el ensayo de dureza Rockwell C a los aceros AISI 4340 y 01 a los que previamente se les sometió a temple para mejorar su dureza y rigidez, cuyos resultados se presentan en la **Tabla 3.5**.

**Tabla 3.5. Resultados del ensayo de dureza Rockwell C a los aceros AISI 4340 y AISI 01 (DF2).**

<b>UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA</b>					
<b>LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES</b>					
<b>ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL C</b>					
MATERIALES: ACEROS AISI 4340 Y AISI 01 (DF2)					
TIPO DE MATERIAL: ACEROS ESPECIALES CON ALTO Y BAJO CONTENIDO DE CARBONO					
ACERO	SIN TRATAR	TRATADAS TÉRMICAMENTE			PUNTO DE MEDICIÓN
		TEMPLE	REVENIDO	ALIVIO DE TENSIONES	
<b>AISI 4340</b>	28 HRC	52 HRC	33 HRC	30 HRC	Borde de la probeta
	36.5 HRC	54 HRC	40 HRC	32 HRC	Centro de la probeta
<b>AISI 01 (DF2)</b>	9 HRC	63 HRC	30,5 HRC	27 HRC	Borde de la probeta
	13 HRC	64.5 HRC	34 HRC	29 HRC	Centro de la probeta

Como se puede observar en la **Tabla 3.5**, los aceros que han sido dados los tratamientos térmicos han mejorado su dureza significativamente y de acuerdo al diagrama hierro carbono se consiguió martensita con este tratamiento en el acero AISI

01 (DF2) y AISI 4340 y la bainita en los demás tratamientos térmicos con lo cual se cumple el objetivo del proyecto. Además en la **Figura 3.36**, se puede observar ésta variación de la dureza de cada acero y por tratamiento.



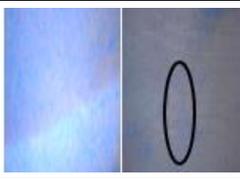
**Figura 3.36. Curvas de la variación de la dureza Rockwell C en los aceros tratados.**

### c. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA MICROGRAFÍA REALIZADA A LOS ACEROS AISI 4340 Y AISI 01 (DF2)

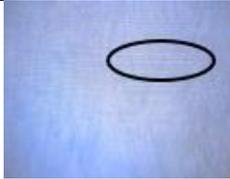
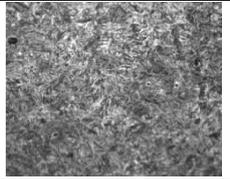
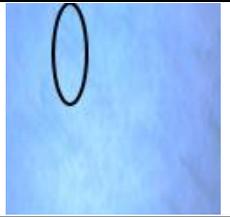
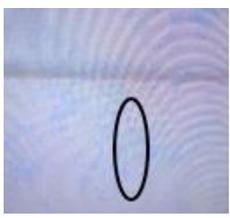
Luego de realizar los diferentes tipos de tratamientos térmicos a la temperatura correspondiente a cada uno de ellos, es necesario realizar un ataque químico para las pruebas microscópicas para poder observar la apariencia física de la Martensita. Como se muestra en la figura de la **Tabla 3.6**, de temple del acero AISI 01 (DF2) se muestra su aspecto metalográfico de agujas en zig-zag en una matriz de austenita. Cuando la transformación de la austenita es completa, la observación es más difícil esto se debe al contenido de carbono del acero como se muestra en la figura de la **Tabla 3.7**, de temple del acero AISI 4340 se muestra su aspecto metalográfico de agujas en zig-zag más finas y pequeñas que en el acero observado anteriormente.

Del mismo modo para observar la **bainita** en el revenido y alivio de tensiones de los dos tipos de aceros tratados térmicamente en el proyecto se procede a realizar un ataque químico para las pruebas microscópicas y poder observar la microestructura de la bainita revenida y aliviada de tensiones se forma una microestructura compuesta por placas (o agujas) de ferrita y partículas de cementita. Esta estructura intermedia es comúnmente conocida como bainita como se muestran en las **Tablas 3.6** y **Tabla 3.7**, del revenido y alivio de tensiones de los aceros AISI 01 (DF2) y AISI 4340.

**Tabla 3.6. Resumen de las pruebas y tratamientos térmicos realizados en el proyecto para el acero AISI 01 (DF2).**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA				
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES				
Resumen de las pruebas y tratamientos térmicos realizados en el proyecto para el acero AISI 01 (DF2)				
Tratamiento Térmico	Ataque Químico	Microestructura Obtenida sin Templar	Microestructura Martensítica Obtenida Después del Temple	Microestructura Martensítica Templada de ASM HANDBOOK
Temple a 850°C en aceite	Nital 4			
		Microestructura Obtenida sin Revenir	Microestructura Bainítica Obtenida Después del Revenido	Microestructura Bainítica Revenida de ASM HANDBOOK
Revenido a 650°C Enfriado en el Horno	Nital 4			
		Microestructura Obtenida sin Alivio de Tensiones	Microestructura Bainítica Obtenida Después del Alivio de Tensiones	Microestructura Bainítica Aliviada las Tensiones de ASM HANDBOOK
Alivio de Tensiones a 600°C Enfriado en el Horno	Nital 4			

**Tabla 3.7. Resumen de las pruebas y tratamientos térmicos realizados en el proyecto para el acero AISI 4340.**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA				
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES				
Resumen de las pruebas y tratamientos térmicos realizados en el proyecto para el acero AISI 4340.				
Tratamiento Térmico	Ataque Químico	Microestructura Obtenida sin Templar	Microestructura Martensítica Obtenida Después del Temple	Microestructura Martensítica Templada de ASM HANDBOOK
Temple a 850°C en aceite	Nital 2			
		Microestructura Obtenida sin Revenir	Microestructura Bainítica Obtenida Después del Revenido	Microestructura Bainítica Revenida de ASM HANDBOOK
Revenido a 600°C Enfriado en el Horno	Nital 2			
		Microestructura Obtenida sin Alivio de Tensiones	Microestructura Bainítica Obtenida Después del Alivio de Tensiones	Microestructura Bainítica Aliviada las Tensiones de ASM HANDBOOK
Alivio de Tensiones a 550°C Enfriado en el Horno	Nital 2			

Una vez realizadas las pruebas de microestructura se obtuvo los resultados observados en las tablas anteriormente mencionadas donde se puede evidenciar los cambios en el acero, del mismo modo dependiendo el tratamiento térmico se puede observar la martensita en el temple y la bainita en el revenido y alivio de tensiones en los aceros utilizados para las pruebas del proyecto.

### 3.6. MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DEL HORNO

1. Encendido del sistema de automatización del horno como se muestra en la **Figura 3.37.**



**Figura 3.37. Encendido del sistema de automatización del horno.**

2. Encendido de los equipos de automatización del horno como se muestra en la **Figura 3.38.**



**Figura 3.38. Encendido de los equipos de automatización del horno.**

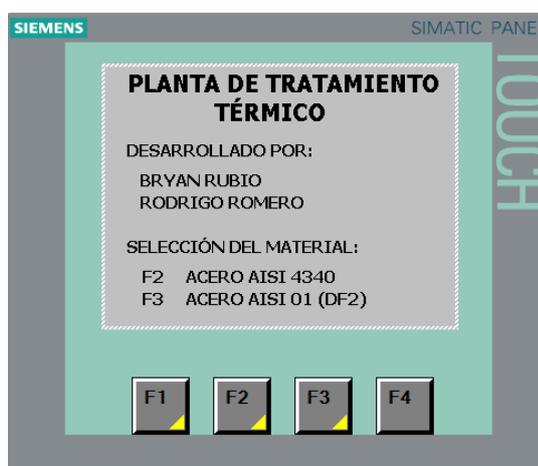
3. Una vez encendido los equipos de automatización:
  - Aparecerá la pantalla de inicio como se muestra en la **Figura 3.39.**



**Figura 3.39. Pantalla de inicio.**

4. Vista del menú principal.

- Presione la tecla F1, esta indicación le llevara (aparecerá) al siguiente menú de PLANTA DE TRATAMIENTO TÉRMICO como se muestra en la **Figura 3.40**.



**Figura 3.40. Pantalla menú principal.**

5. Seleccione el tipo de acero o material que desea tratar.

- F2 para tratamiento térmico del acero AISI 4340.
- F3 para el tratamiento térmico del acero AISI (DF2).

Si la selección es F2, entonces la indicación le llevará a la siguiente pantalla TRATAMIENTO TÉRMICO DEL ACERO AISI 4340 como se muestra en la **Figura 3.41**.

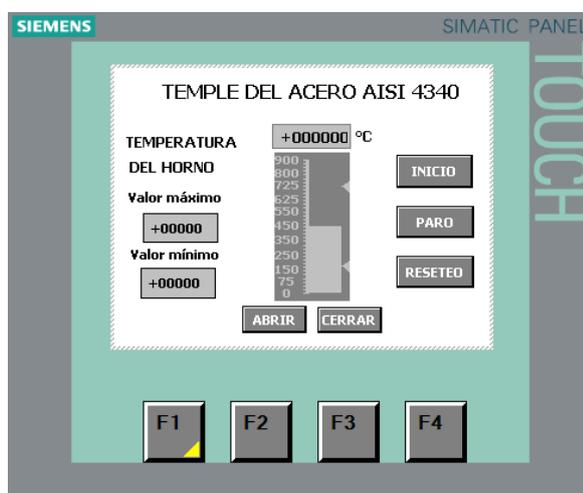


**Figura 3.41. Tratamiento térmico del acero AISI 4340.**

6. Tratamiento térmico del ACERO AISI 4340.

- Seleccione el tipo de tratamiento térmico que desea dar al ACERO AISI 4340.

7. Si la selección es TEMPLE le aparecerá la siguiente pantalla TEMPLE DEL ACERO AISI 4340 como se muestra en la **Figura 3.42**, donde indica la temperatura en que se encuentra el sistema y los valores máximos y mínimos de la misma para el TEMPLE DEL ACERO AISI 4340.



**Figura 3.42. Temple del acero AISI 4340.**

Si desea volver a la pantalla de selección del tipo de tratamiento térmico del ACERO AISI 4340 presione PARO/RESETEO/F1 y volverá al siguiente submenú de

TRATAMIENTO TÉRMICO DEL ACERO AISI 4340 como se muestra en la **Figura 3.43**.



**Figura 3.43. Tratamiento térmico del acero AISI 4340.**

8. Si la selección es REVENIDO le aparecerá la siguiente pantalla REVENIDO DEL ACERO AISI 4340 como se muestra en la **Figura 3.44**, donde indica la temperatura en que se encuentra el sistema y los valores máximos y mínimos de la misma para el REVENIDO DEL ACERO AISI 4340.



**Figura 3.44. Revenido del acero AISI 4340.**

Si desea volver a la pantalla de selección del tipo de tratamiento térmico del ACERO AISI 4340 presione PARO/RESETEO/F1 y volverá al siguiente submenú

TRATAMIENTO TÉRMICO DEL ACERO AISI 4340 como se muestra en la **Figura 3.45**.



**Figura 3.45. Tratamiento térmico del acero AISI 4340.**

9. Si la selección es ALIVIO DE TENSIONES le aparecerá la siguiente pantalla ALIVIO DE TENSIONES DEL ACERO AISI 4340 como se muestra en la **Figura 3.46**, donde indica la temperatura en que se encuentra el sistema y los valores máximos y mínimos de la misma para el ALIVIO DE TENSIONES DEL ACERO AISI 4340.



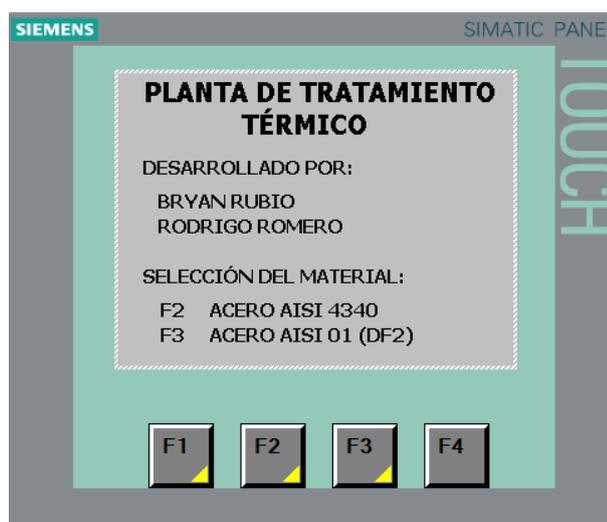
**Figura 3.46. Alivio de tensiones del acero AISI 4340.**

Si desea volver a la pantalla de selección del tipo de tratamiento térmico del ACERO ANSI 4340 presione PARO/RESETEO/F1 y volverá al siguiente submenú TRATAMIENTO TÉRMICO DEL ACERO AISI 4340 como se muestra en la **Figura 3.47**.



**Figura 3.47. Tratamiento térmico del acero AISI 4340.**

Si desea volver a la pantalla MENÚ PRINCIPAL en cualquier momento presionar F1/F1 y la indicación le llevará a la siguiente pantalla PLANTA DE TRATAMIENTO TÉRMICO como se muestra en la **Figura 3.48**.



**Figura 3.48. Planta de tratamiento térmico.**

**NOTA:** En caso que se requiera abrir o cerrar la tapa del horno cuando esté dando algún tipo de tratamiento térmico a los aceros indicados, en el momento que sea necesario presione abrir para abrir la tapa o cerrar para cerrar la tapa del horno.

Si la selección es F3, entonces la indicación le llevará a la siguiente pantalla TRATAMIENTO TÉRMICO DEL ACERO AISI 01 (DF2) como se muestra en la **Figura 3.49**.

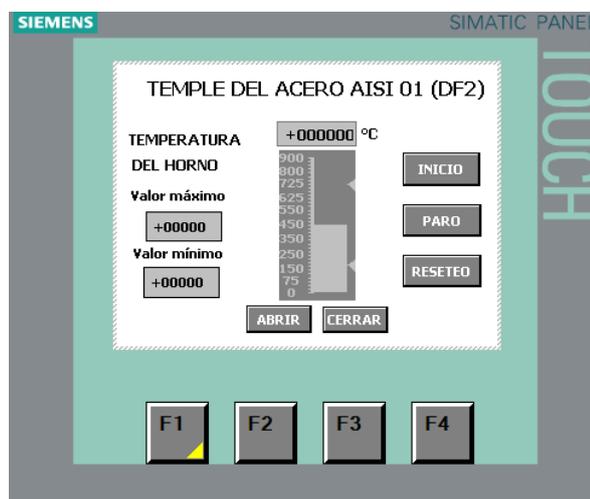


**Figura 3.49. Tratamiento térmico del acero AISI 01(DF2).**

10. Tratamiento térmico del acero AISI 01 (DF2).

- Seleccione el tipo de tratamiento térmico que desea dar al acero AISI 01 (DF2)

11. Si la indicación es TEMPLE le aparecerá la siguiente pantalla TEMPLE DEL ACERO AISI 01 (DF2) como se muestra en la **Figura 3.50**, donde indica la temperatura en que se encuentra el sistema y los valores máximos y mínimos de la misma para el TEMPLE DEL ACERO AISI 01 (DF2).



**Figura 3.50. Temple del acero AISI 01 (DF2).**

Si desea volver a la pantalla de selección del tipo de tratamiento térmico del ACERO AISI 01 (DF2) presione PARO/RESETEO/F1 y volverá al siguiente submenú como se muestra en la **Figura 3.51**.



**Figura 3.51. Tratamiento térmico del acero AISI 01 (DF2).**

12. Si la indicación es REVENIDO le aparecerá la siguiente pantalla REVENIDO DEL ACERO ANSI 01 (DF2) como se muestra en la **Figura 3.52**, donde indica la temperatura en que se encuentra el sistema y los valores máximos y mínimos de la misma para el REVENIDO DEL ACERO ANSI 01 (DF2).



**Figura 3.52. Revenido del acero AISI 01 (DF2).**

Si desea volver a la pantalla de selección del tipo de tratamiento térmico del ACERO AISI 01 (DF2) presione PARO/RESETEO/F1 y volverá al siguiente submenú

TRATAMIENTO TÉRMICO DEL ACERO AISI 01 (DF2) como se muestra en la **Figura 3.53**.



**Figura 3.53. Tratamiento térmico del acero AISI 01 (DF2).**

13. Si la indicación es ALIVIO DE TENSIONES le aparecerá la siguiente pantalla ALIVIO DE TENSIONES DEL ACERO AISI 01 (DF2) como se muestra en la **Figura 3.54**, donde indica la temperatura en que se encuentra el sistema y los valores máximos y mínimos de la misma para el ALIVIO DE TENSIONES DEL ACERO DF2.



**Figura 3.54. Alivio de tensiones del acero AISI 01 (DF2).**

Si desea volver a la pantalla de selección del tipo de tratamiento térmico del ACERO AISI 01 (DF2) presione PARO/RESETEO/F1 y volverá al siguiente submenú

TRATAMIENTO TÉRMICO DEL ACERO AISI 01 (DF2) como se muestra en la **Figura 3.55**.



**Figura 3.55.** Tratamiento térmico del acero AISI 01 (DF2).

Si desea volver a la pantalla MENÚ PRINCIPAL en cualquier momento presionar F1/F1 y la indicación le llevará a la siguiente pantalla PLANTA DE TRATAMIENTO TÉRMICO como se muestra en la **Figura 3.56**.



**Figura 3.56.** Planta de tratamiento térmico.

### **3.7. PROCEDIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL HORNO**

Se propone un mantenimiento preventivo para el horno de la planta de tratamiento térmico que ayudará al correcto funcionamiento de la máquina, así como también ayudará a alargar la vida útil del horno lo cual se recomienda poner en práctica el manual de mantenimiento preventivo que se muestra en el **Anexo G**.

### **3.8. PROCEDIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL CILINDRO NEUMÁTICO**

Del mismo modo se propone un mantenimiento preventivo para el cilindro neumático de la planta de tratamiento térmico, que ayudará al correcto funcionamiento del mismo, así como también ayudará a alargar la vida útil del cilindro neumático lo cual se recomienda poner en práctica el manual de mantenimiento preventivo que se muestra en el **Anexo G**.

## CAPÍTULO 4

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

- Se diseñó el sistema electro neumático aprovechando un cilindro neumático para realizar el levantamiento automático de la tapa del horno de tratamientos térmicos debido a que después de terminado el calentamiento de temple se debe, inmediatamente sacar la pieza del horno para enfriarla y debido a las pérdidas de calor que en la tapa llega hasta los 110 °C de temperatura no se puede manipular, y con este mecanismo el operario puede retirar la pieza y cerrar la tapa sin riesgo alguno.
- Se implementó el sistema de supervisión en donde se puede observar el comportamiento de la temperatura del horno para tratamiento térmico de piezas metálicas para el Laboratorio de Control Industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.
- Se diseñó e implementó un control de temperatura ON/OFF con cruce por cero para el control total del horno. Además se comprobó que para el proceso de control de temperatura de un horno para tratamientos térmicos utilizado en este proyecto, resulta muy satisfactorio aplicar un control ON - OFF, ya que al tratarse de un proceso lento es aconsejable dicho control, ya que presenta un error de estado estacionario. Y debido al consejo del fabricante de las resistencias eléctricas calefactoras, con dicho control se compensa el aumento gradual de la resistencia de los elementos, ya que cada ciclo completo de la tensión de la red de alimentación puede provocar cargas equivalentes a varias veces dicho valor recomendado, y esto conduciría a un aumento progresivo rápido del valor de la resistencia de los elementos y a su vez averías prematuras.
- En el proceso de realizar un tratamiento térmico a un acero no solo depende del buen funcionamiento del horno, sino de la aplicación de las técnicas de tratamiento

adecuadas para lograr diferentes tipos de dureza, ductilidad, tenacidad que requiera determinado acero, sea este una herramienta, un eje, dependiendo del tipo de trabajo que se desee hacer y entornos en los que va a estar la probeta de acero y dependiendo de los requerimientos de diseño se puede obtener características exactas para un material.

- Se realizó un análisis micrográfico de la probetas dadas los tratamientos térmicos de temple revenido y alivio de tensiones en los cuales se pudo observar la formación de una microestructura martensítica en el temple y una microestructura bainítica en el revenido y alivio de tensiones de los aceros utilizados para el proyecto lo que demuestra que los tratamientos fueron dados correctamente.
- Se comprobó mediante la prueba de dureza Rockwell realizada a una probeta de acero AISI 01 (DF2) y AISI 4340 sin tratar y otras tratadas térmicamente con la técnica de temple cuyo objetivo es elevar la dureza del acero, para así aumentar su durabilidad en uso, logrando resultados favorables y concluyentes en durezas desde 13 HRC a 64 HRC dependiendo del contenido de carbono del acero.
- Las pérdidas de calor existentes en el horno para tratamientos de materiales cerámicos es excesiva tanto por conducción como por convección, debido a que no tiene un adecuado aislamiento térmico lo que conlleva a que se tenga pérdidas de calor considerables.

#### **4.2. RECOMENDACIONES**

- Con los equipos ya implementados se recomienda abrir el campo de tratamientos térmicos del acero con los estudiantes y realizar los cambios necesarios para que este proyecto pueda llegar a abarcar más tipos de tratamientos térmicos de los que al momento se encuentran implementados en la planta, previamente realizando un estudio de factibilidad.

- En caso de que el operador vaya a utilizar por primera vez la máquina, seguir las instrucciones del manual que se encuentra en el libro impreso de la tesis capítulo 3, caso contrario por la mala operación de la misma puede causar problemas con la integridad física tanto del operario como de la máquina.
- Dar el mantenimiento preventivo a la planta de tratamientos térmicos para piezas metálicas, como se indica en el manual de mantenimiento que se encuentra en el Anexo G, para obtener un buen funcionamiento de los equipos y que los mismos no fallen en el proceso.
- Se debe tener conocimientos de tratamientos térmicos, aceros disponibles en el medio ya que dependiendo del tipo de acero que se desea dar algún tratamiento no es factible conseguirlo nacionalmente.
- Tener conocimientos básicos sobre el funcionamiento de los equipos utilizados y poder calibrarlos, y posteriormente realizar la demostración de que el tratamiento térmico esta dado de acuerdo a los parámetros que da el fabricante del acero.
- Realizar los diferentes tipos de tratamientos térmicos como el fabricante del material lo indica, ya que dependiendo de la temperatura y el modo de enfriamiento, los tratamientos térmicos serán correctos caso contrario no se podrá observar ni diferenciar los cambios sufridos en la microestructura y en la dureza del material.
- Se recomienda colocar o implementar en el laboratorio una toma de presión de aire exclusiva para la planta de tratamientos térmicos, ya que por el momento éste no dispone de una línea de presión, por lo que se dificulta el trabajo para realizar los tratamientos térmicos.

**BIBLIOGRAFÍA**

- [5] J. WILLAM D. CALLISTER, Ciencia e Ingeniería de los Materiales, BARCELONA-BOGOTA: EDITORIAL REVERTÉ, S.A..
- [6] M. F. D. D. C. R. M. A. Reyes, Aceros, Estructuras y Tratamientos Térmicos, México, D.F. : Cuautitlán Izcalli, 2012.
- [8] D. R. ASKELAND, CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES, Santiago de Chile: International Thomson Editores, S.A. de C.V., 1998.
- [14] R. L. MOTT, Resistencia de Materiales, México, D.F. : PEARSON EDUCACIÓN, 2009.
- [15] R. G. B. y J. K. Nisbett, Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, Octava ed., McGraw-Hill Interamericana.
- [16] Y. A. C. y A. J. GHAJAR, Transferencia de calor y masa, Cuarta ed., McGraw Hill Educación.
- [17] F. L. S. y A. Pytel, RESISTENCIA DE MATERIALES, Alfaomega.
- [18] G. d. Investigación, ASM Handbook Heat Treating, vol. 4, Ohio, International Handbook Committoo, 1991.
- [22] S. H. AVNER, Introducción a la Metalurgia Física, México, D.F. : McGRW-HILL, 1998.
- [23] J. A. Barreiro, Tratamientos Térmicos de los Aceros.
- [24] G. d. Investigación, ASM Handbook Metallography and Microstructures, vol. 9, Ohio, International Handbook Committoo, 1991.

## NETGRAFÍA

- [1] GUEMISA, «Sondas de Termocupla,» 23 Septiembre 2008. [En línea]. Available: <http://www.guemisa.com/hrtemp/docus/sondas.pdf> . [Último acceso: 05 Marzo 2014].
- [2] Neumática e Hidráulica, «Conceptos Basicos Neumática e Hidráulica,» 16 Octubre 2014. [En línea]. Available: [http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica\\_hidraulica22.htm](http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica22.htm). [Último acceso: Jueves Octubre 2014].
- [3] Educativa-Catedu, «Cálculo de Cilindros,» 09 Febrero 2012. [En línea]. Available: [http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1144/html/3\\_clculo\\_de\\_cilindros\\_fuerza\\_consumo\\_de\\_aire.html](http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1144/html/3_clculo_de_cilindros_fuerza_consumo_de_aire.html). [Último acceso: 10 Agosto 2014].
- [4] Festo, «Actuadores Neumáticos D. Arce,» 18 Agosto 2012. [En línea]. Available: <http://www.festo.com/net/startpage/>. [Último acceso: 03 Marzo 2014].
- [7] Ivan Bohman, «Aceros Ivan Bohman,» 23 Agosto 2014. [En línea]. Available: <http://www.ivanbohman.com.ec/>. [Último acceso: 03 Septiembre 2014].
- [9] Fabio Andres Galeno Pinzon, «Electronikuts,» 13 Septiembre 2013. [En línea]. Available: <https://electronikuts.files.wordpress.com/2014/09/libro-final-grupo-fabio.pdf>. [Último acceso: 12 Agosto 2014].
- [10] Siemens, «Siemens Programmable Logic,» 10 Diciembre 2014. [En línea]. Available: <http://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/basic-controller/s7-1200/pages/default.aspx>. [Último acceso: 2014].
- [11] Kanthal, «GLOBAL SD,» 13 Junio 2012. [En línea]. Available: [http://www2.kanthal.com/C12570A7004E2D46/062CC3B124D69A8EC1256988002A3D76/DDE6A857C0FA1F78C12570C20051578C/\\$file/10-B-2-5%20global%20SD%20ES.pdf?OpenElement](http://www2.kanthal.com/C12570A7004E2D46/062CC3B124D69A8EC1256988002A3D76/DDE6A857C0FA1F78C12570C20051578C/$file/10-B-2-5%20global%20SD%20ES.pdf?OpenElement). [Último acceso: 07 Marzo 2014].
- [12] ELECTRÓNICA BC, «ELECTRÓNICA BC,» 10 Diciembre 2014. [En línea]. Available: <http://www.electricasbc.com/>. [Último acceso: 10 Diciembre 2014].
- [13] F. Blanco, «Uniovi.es,» 20 Abril 2005. [En línea]. Available: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion2.HornosResistencia.PERDIDAS.CALOR.pdf>. [Último acceso: 10 Marzo 2014].

- [19] Termokew S.A. , «termopares,» 20 Octubre 2012. [En línea]. Available: <http://www.termokew.mx/termopares.php> . [Último acceso: 12 Septiembre 2014].
- [20] Neumatica, «Valvulas Neumatica,» 15 Agosto 2013. [En línea]. Available: <http://sitioniche.nichese.com/valvulas.html>. [Último acceso: 10 Agosto 2014].
- [21] scribd, «Hornos,» 12 Marzo 2010. [En línea]. Available: <http://es.scribd.com/doc/225122056/Hornos>. [Último acceso: 05 Septiembre 2014].

# ANEXOS

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los Señores: Freddy Rodrigo Romero Bedón y Marvin Bryan Rubio Zapata, bajo nuestra supervisión:

---

ING. JUAN CORREA

**DIRECTOR**

---

ING. WILSON SANCHEZ

**CODIRECTOR**

---

ING. KATYA TORRES

**DIRECTORA DE LA CARRERA**

---

DR. RODRIGO VACA CORRALES

**SECRETARIO ACADÉMICO**