



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

“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”





**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
EXTENSIÓN LATACUNGA**

**INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA**



PROYECTO REALIZADO POR: Rodrigo Romero – Bryan Rubio

DIRECTOR DEL PROYECTO: Ing. Juan Correa J.

CODIRECTOR DEL PROYECTO: Ing. Wilson Sánchez O.

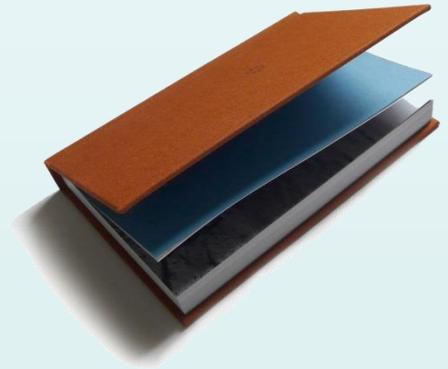
ABRIL 2015



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

AGENDA

- ❖ Título del Proyecto.
- ❖ Línea de Investigación.
- ❖ Justificación e importancia.
- ❖ Objetivo General.
- ❖ Objetivos específicos.
- ❖ Metas Trazadas.
- ❖ Introducción a los Tratamientos Térmicos.
- ❖ Generalidades del acero AISI 4140 (709).
- ❖ Temple del Acero AISI 4140 (709)
- ❖ Diseño Mecánico.
- ❖ Diseño Estructural.
- ❖ Diseño Neumático.
- ❖ Diseño Eléctrico.
- ❖ Análisis de Resultados.
- ❖ Trabajos Futuros.
- ❖ Conclusiones.
- ❖ Recomendaciones.



Título del Proyecto

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.

Línea de investigación

Área Eléctrica y Mecánica para la Comunidad Politécnica





Justificación e Importancia

En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga en el departamento de Eléctrica y Electrónica, carrera de Ingeniería Electromecánica no cuenta en sus laboratorios con un horno didáctico con fines educativos para los estudiantes de la ingeniería electromecánica que permita analizar de manera práctica, no solo teórica a los materiales y los posibles tratamientos térmicos que se le puede dar a los metales para proporcionar propiedades de resistencia, ductilidad, tenacidad, dureza o resistencia a la corrosión, los cuales cumplen un papel muy importante en el sector industrial.



Como producto del proyecto se tendrá un horno que es capaz de iniciar estudios de investigación en ciencia de materiales ya que contará con un sistema que controlará la temperatura desde valores ambientales hasta niveles que permita endurecer materiales por tratamiento térmico.



Objetivo General



Diseñar e implementar 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

Objetivos Específicos:



Diseñar el sistema electro neumático para levantar la tapa del horno.

Implementar un sistema de supervisión donde se pueda visualizar la variable temperatura y su modificación así como del control total del horno para tratamiento térmico de piezas metálicas para el laboratorio de control industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

Diseñar e implementar un control de cruce por cero para el manejo de la temperatura.

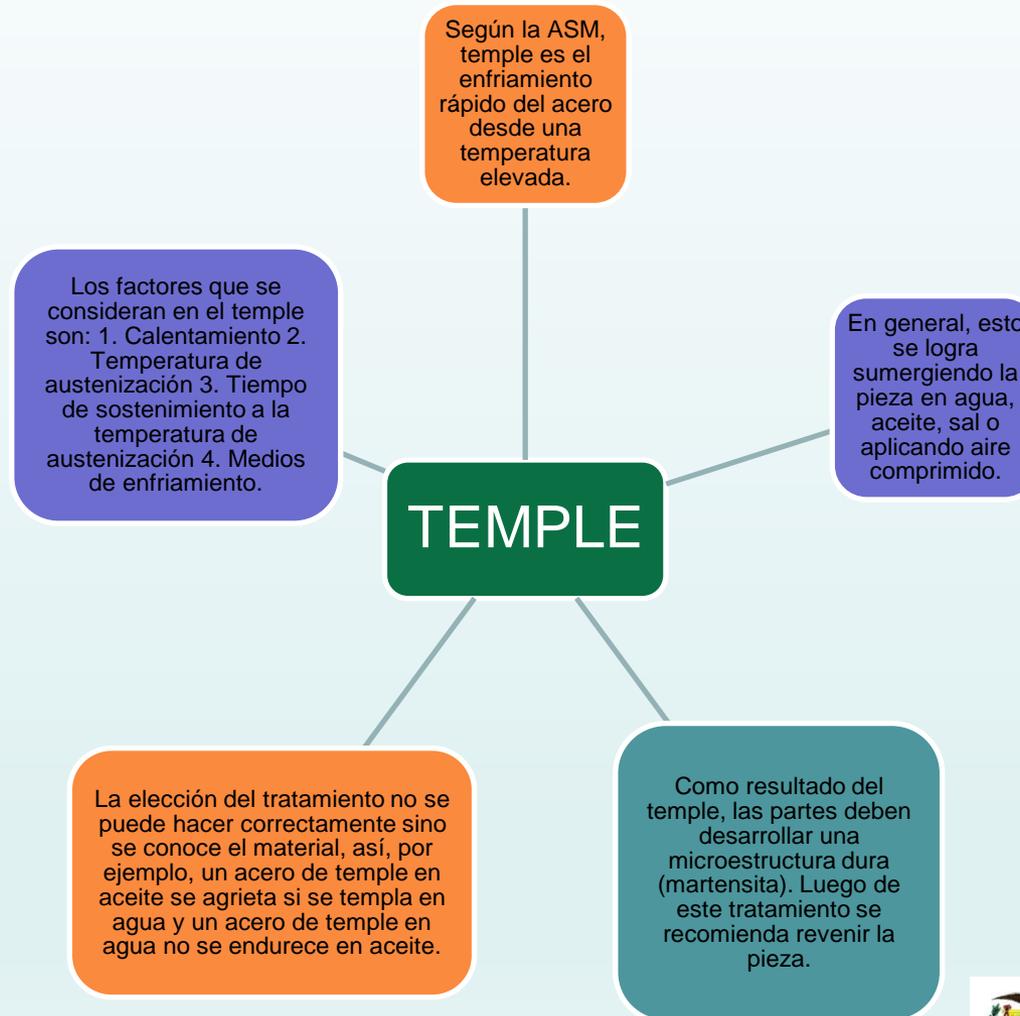
Realizar tres tratamientos térmicos a dos tipos de aceros al carbono y confirmar el mismo mediante pruebas realizadas dentro de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.



Metas Trazadas

- Análisis de los tratamientos térmicos a realizar en el presente proyecto.
- Implementación del sistema mecánico, eléctrico y de control de temperatura para el horno de tratamientos térmicos.
- Resultados de los ensayos realizados en la planta a partir de los análisis ejecutados en el Laboratorio de Resistencia de Materiales.
- Pruebas de funcionamiento del horno para tratamientos térmicos.

INTRODUCCIÓN A LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS



GENERALIDADES DEL ACERO AISI 4140 (709)

Es un acero aleado para construcción de maquinaria, que posee una alta resistencia, especialmente en medidas pequeñas y medianas. Como norma, el 709 es suministrado templado y revenido (temple tenaz bonificado), por lo que no se requeriría un tratamiento térmico posterior, a no ser que así lo exija la aplicación y en ese caso, se templaría en aceite para obtener propiedades mecánicas más elevadas. El 709 es apropiado para templarse por flama e inducción susceptible de nitrurar.



Propiedades físicas y químicas del acero AISI 4140 (709)



PROPIEDADES MECÁNICAS EN CONDICIÓN DE SUMINISTRO	
Resistencia a la Tracción	90-110kg/mm ²
Esfuerzo de cadena	70kg/mm ²
Resistencia al Impacto	Aprox .25J
Elongación, as	min 12%
Reducción de Área Z	min 50%
Dureza	275-320HB

Propiedades Químicas %							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
709	0.42	0.25	0.75			1.05	0.20
AISI 4140	0.38-0.43	0.15-0.35	0.75-1.00	<0.035	<0.040	0.80-1.10	0.15-0.25

Aplicaciones del acero AISI 4140 (709)

1. Industria automotriz:

Ejes, bielas, cigüeñales, árboles de transmisión, etc.

2. Maquinaria:

Engranajes de temple por llama, inducción o nitruración, árboles de turbinas a vapor, tornillería de alta resistencia, ejes de reductores.

3. Industria petrolera:

Taladros, brocas, barreras, cuerpos de escariadores, vástagos de pistón.



Tratamientos Térmicos del acero AISI 4140 (709)



- **Recocido blando:** (680-720°C)
- **Alivio de tensiones:** (450-650°C)
- **Temple:** (830-850°C)
- **Revenido:** (500-700°C)

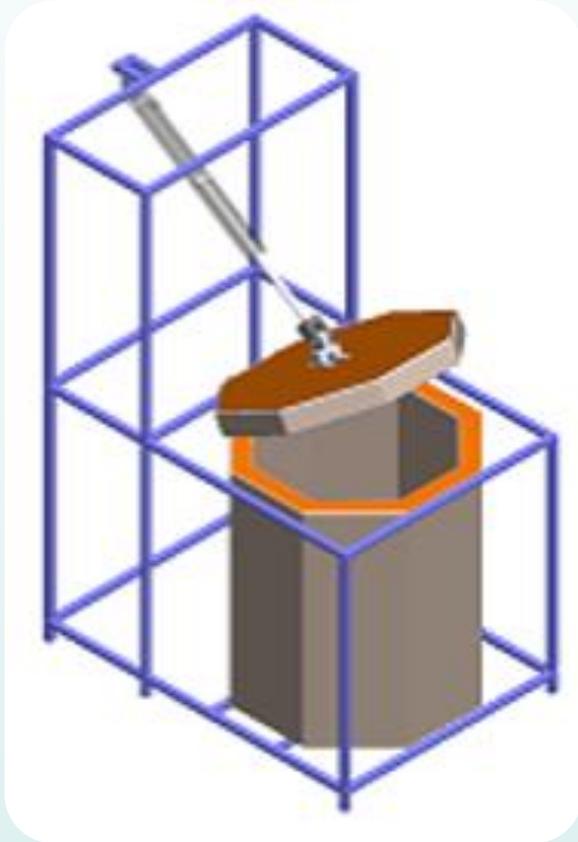
Temperatura
(830-850°C) Con
enfriamiento en
aceite

TEMPLE DEL ACERO AISI 4140 (709)

Interrumpir el
enfriamiento a los
125°C y revenir
inmediatamente.

El tiempo de
mantenimiento en
minutos cuando la
superficie ha
alcanzado la
temperatura de
temple es 0.7x
espesor o diámetro
en mm

DISEÑO MECÁNICO



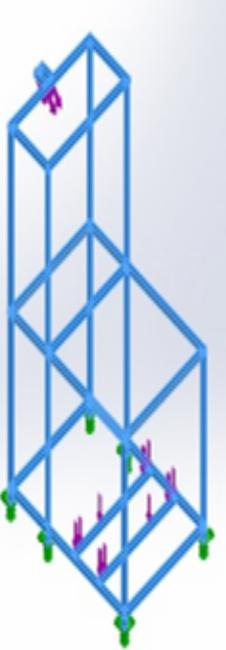
- ANÁLISIS TÉRMICO DEL HORNO
- DISEÑO ESTRUCTURAL
- DISEÑO NEUMÁTICO

HORNO PARAGON PARAGON TOUCH N FIRE



Temperatura Máx.	2300F 1259C
Amperaje	30 Amp
Número de Fases	1
Potencia	7200Watts
Tamaño del Disyuntor	50
Tamaño Circuito de alambre de cobre	Calibre 6
Voltaje	240V
Frecuencia	60 Hertz
Peso	90,72 Kg
Lados	8

DISEÑO ESTRUCTURAL

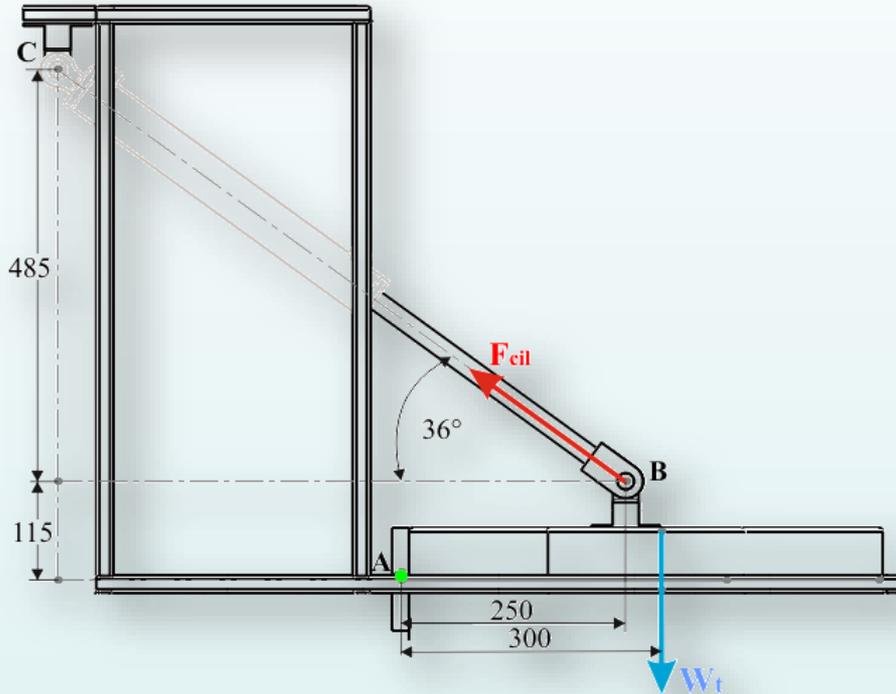
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: ASTM A36 Acero</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Límite elástico: 250 N/mm²</p> <p>Límite de tracción: 400 N/mm²</p> <p>Módulo elástico: 200000 N/mm²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.26</p> <p>Densidad: 7850 g/cm³</p> <p>Módulo cortante: 79300 N/mm²</p>	<p>Estructura horno para tratamientos térmicos.</p>

PARAMETROS 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



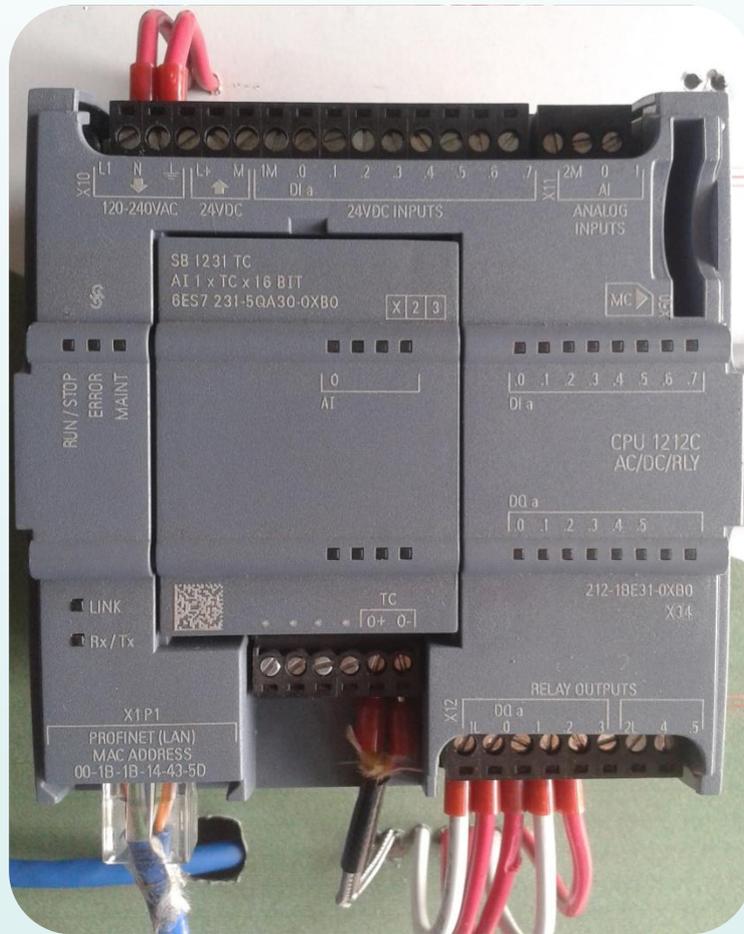
DISEÑO NEUMÁTICO



PARÁMETROS DE DISEÑO

- Peso de la tapa del horno = 100 N (10 kg).
- 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.
- Fuente de aire = 6 bares.

DISEÑO ELÉCTRICO



EQUIPOS

- *Características del contactor.*
- *Características del relé de estado sólido.*
- *Características del PLC.*
- *Características de la termocupla.*
- *Características touch panel KTP 400.*
- *Características electroválvula.*
- *Diagrama de procesos.*

CONTACTOR

CARACTERÍSTICAS DE CONTACTOR



Contactor LG modelo LS

Unidad De Contactos Auxiliares UA-4 2a2b.

- Contacto principal 3 polos NO
- Montable en riel DIN
- Control AC a 220V y 60 Hz a la bobina.
- Contactos auxiliares para resistencias eléctricas AC1=Ith= 40 Amperios, 3.5 KW.
- 1 NO y 1 NC contactos auxiliares de construcción estándar.
- Con una unidad de contactos auxiliares al lado izquierdo (UA-1).
- Cadencia máxima de ciclos de maniobras por hora = 1800 operaciones/h.
- Vida útil 15 mil operaciones.
- 2 contactos NO (normalmente abiertos) y 2 contactos NC (normalmente cerrados).
- AC1=Ith= 40 Amperios, 3.5 KW.

RELÉ DE ESTADO SÓLIDO



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

Controlador Lógico Programable (PLC)



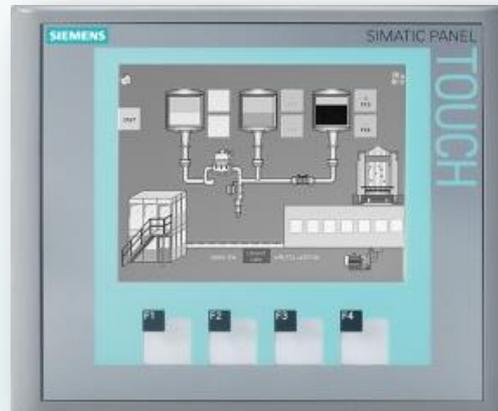
Datos Técnicos	CPU 1212C AC/DC/relé
Consumo de corriente de las entradas digitales (24 V DC)	4 mA/entrada utilizada
E/S digitales integradas	8 entradas/6 salidas
E/S analógicas integradas	2 entradas (0-10VDC)
Ampliación con SB, CB o BB	1 máx
Comunicación	Ethernet
Alimentación	110 – 220 V AC

TERMOCUPLA TIPO K



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

TOUCH PANEL KTP 400



	KTP400 Basic Mono PN	KTP600 Basic Mono PN	KTP600 Basic Color DP	KTP600 Basic Color PN
Tensión nominal	+24 V DC			
Rango admisible	de 19.2 V a 28.8 V (-20 %, +20 %)			
Transitorios, máximo admisible	35 V (500 ms)			
Tiempo entre dos transitorios, mínimo	50 s			
Consumo				
• Típico	aprox. 70 mA	aprox. 240 mA		aprox. 350 mA
• Corriente continua máx.	aprox. 150 mA	aprox. 350 mA		aprox. 550 mA
• Corriente transitoria de conexión Pt	aprox. 0,5 A ² s	aprox. 0,5 A ² s		aprox. 0,5 A ² s
Fusible interno	electrónico			



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ELECTROVÁLVULA

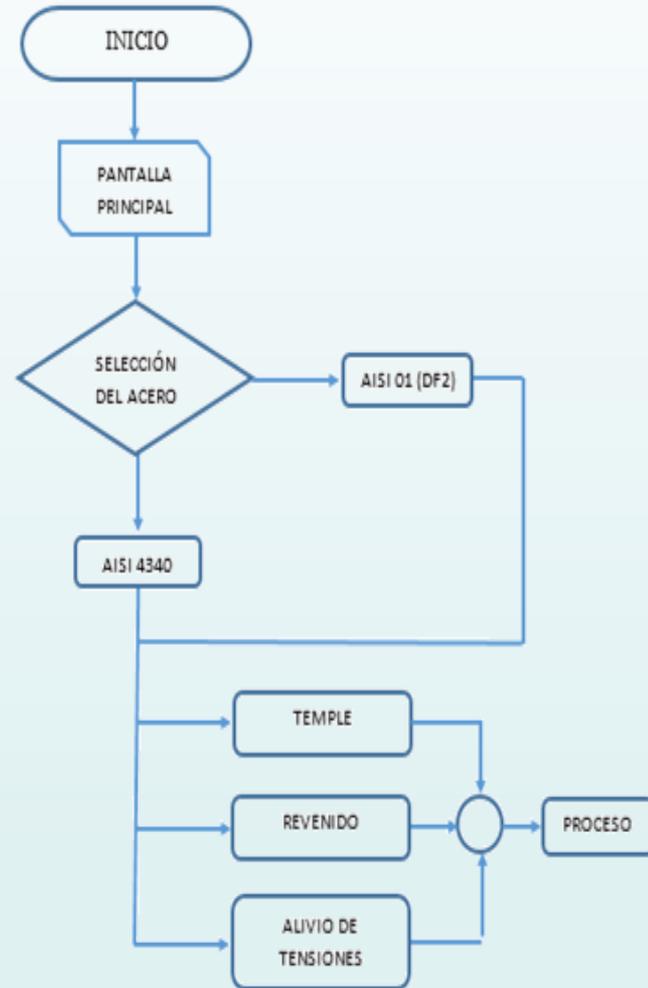
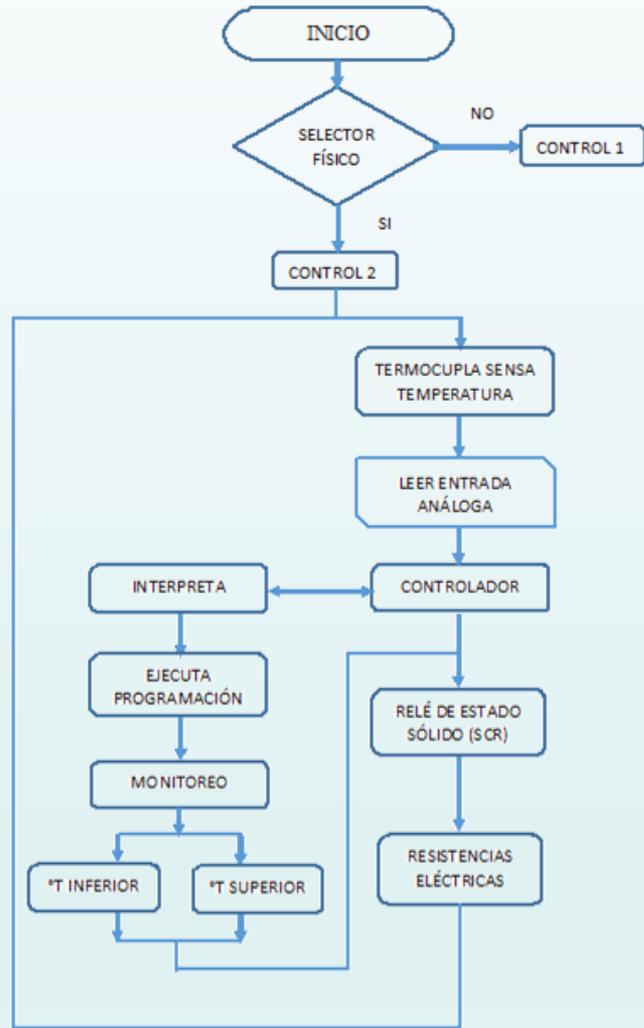


Función	Ejecución	Tipo	Caudal nominal [l/min]	Conexión neumática	Tensión de funcionamiento	
					[V DC]	[V AC]
Válvulas de 5/2 vías	Electroválvula					
		MEBH-5/2-...	700	5,0 mm	24	110, 230
			600	G $\frac{1}{8}$		
		MEH-5/2-...	700	5,0 mm	24	-
			600	G $\frac{1}{8}$		
	Electroválvula biestable					
		JMEBH-5/2-...	700	5,0 mm	24	110, 230
			650	G $\frac{1}{8}$		
JMEH-5/2-...		700	5,0 mm	24	-	
		650	G $\frac{1}{8}$			



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DIAGRAMAS DE PROCESOS

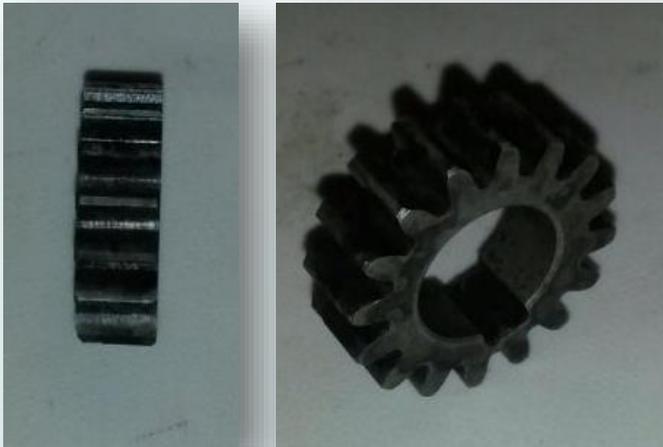


ANÁLISIS DE RESULTADOS



- RESULTADOS DE DUREZA
- CONCLUSIONES
- RECOMENDACIONES

RESULTADOS DE DUREZA



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA			
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES			
ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL C			
MATERIAL: ACERO AISI 4140			
TIPO DE MATERIAL: ACEROS ESPECIALES CON MEDIO CONTENIDO DE CARBONO			
ACERO	ACERO SIN TRATAR	ACERO TEMPLADO	PUNTO DE MEDICIÓN DEL ACERO
AISI 4140	15	65	Borde de la Herramienta
	13,7	63	Centro de la Herramienta

MEDICIÓN DE DUREZA ROCKWELL C

**CENTRO DE LA
HERRAMIENTA**

**BORDE DE LA
HERRAMIENTA**

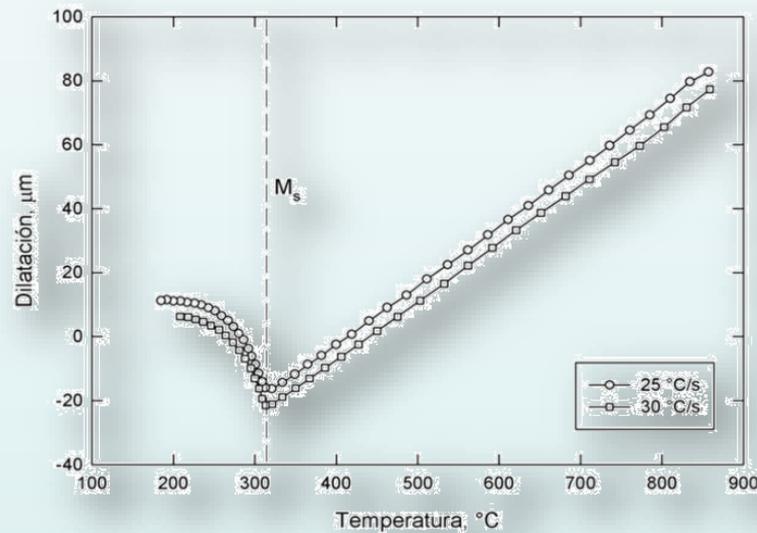
**CENTRO DE LA
HERRAMIENTA**

**BORDE DE LA
HERRAMIENTA**



DILATACIÓN DE LA PROBETA DESPUÉS DEL TEMPLE

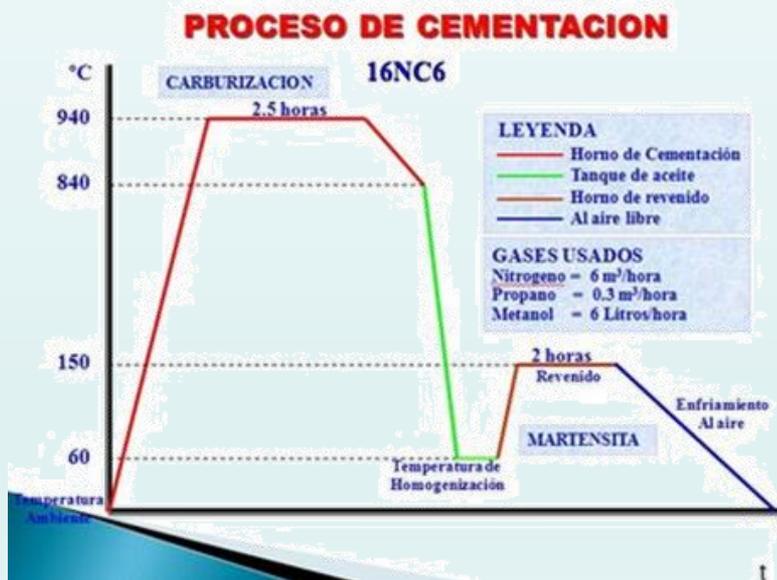
En la figura se puede apreciar que inicialmente el diámetro de la probeta disminuye conforme el enfriamiento avanza hasta que se presenta un cambio de volumen, el cual esta asociado a la transformación austenita – martensita. Este cambio de volumen se opone a la contracción debida al enfriamiento lo que resulta en un incremento del diámetro de la probeta



Dilatación en función de la temperatura para el acero AISI 4140 ensayado en enfriamiento continuo.

Trabajos futuros

Como trabajos futuros se plantean analizar y ejecutar algunos de los tratamientos térmicos de endurecimiento superficial como son: Cementación, Carbonitruración, Nitruración, etc. Ya que hay piezas que conviene endurecerlas solo en la superficie para que resistan el desgaste, pero su interior debe ser más blando para resistir impactos; y son convenientes porque el horno es capaz de llegar a los 1200°C y dichos tratamientos pueden lograrse.



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. 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.

CONCLUSIONES

- ✓ 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 la microestructura martensítica en el temple y la microestructura de la bainita en el revenido y alivio de tensiones de los aceros utilizados en 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 el cual su 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.

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 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.

RECOMENDACIONES

- ✓ 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 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.

Gracias



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA