

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

Freddy Rodrigo Romero Bedón¹, Marvin Bryan Rubio Zapata¹

1. Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga

rodrigorelec@gmail.com, brubioz_90@hotmail.com

Resumen— El proyecto consiste en el 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. El mismo que se basa en implementar un control de temperatura del horno para el tratamiento de las piezas metálicas de igual manera se implementará un control de los picos de corriente y voltaje con el fin de optimizar el desgaste de las resistencias que calientan el horno.

Este proyecto servirá de ayuda para los estudiantes de carreras técnicas de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe extensión Latacunga ya que se podrá realizar las prácticas para el avance de conocimientos en lo que es tratamiento térmico de piezas metálicas de una manera sencilla y rápida sin poner en riesgo la seguridad de los mismos y evitar accidentes.

Palabras clave: *Ingeniería Electromecánica, sistemas térmicos de control automático, acero-tratamiento, ESPEL-laboratorio de control industrial.*

I. INTRODUCCIÓN

En el extenso campo de tratamiento térmico de metales que existe en la actualidad, permite mejorar las materias primas de construcción y de elaborar hasta elementos para transbordadores espaciales, y es por ello que se propone realizar un módulo de tratamiento térmico de piezas metálicas para que el estudiante conozca sobre las propiedades que pueden llegar a tener los aceros aleados y tratados térmicamente y por consecuencia seguir creciendo con dicha tecnología para ser competitivos en el mercado nacional, ya que se dispone de un horno para piezas cerámicas en la institución.

En el proceso de tratamiento térmico se distinguen muchas variables que son controladas por diferentes elementos, sean estos: eléctricos, electrónicos, mecánicos, térmicos, etc., para conseguir el tratamiento de un acero.

El avance de la tecnología ha hecho que cada vez los procesos industriales, tengan un mejor rendimiento por medio de la utilización de ordenadores, los cuales brindan gran ayuda en la supervisión y manejo al operador de todas las variables que se puede controlar dentro de un proceso industrial.

Un horno de tratamiento térmico mejorará la robustez con la aplicación correcta de temperatura en las piezas, eso se logra con la manipulación de corriente entregada en la resistencia eléctrica calefactora.

En cuanto al tratamiento de metales se debe destacar que es muy importante la calidad de la pieza, es decir, que tan resistente es en distintas condiciones de trabajo en la industria, estas piezas son la materia prima en áreas como la mecánica industrial y en la ejecución de nuevos proyectos que permiten el auge de la tecnología, por tal razón estas piezas se someten a diferentes esfuerzos y torques que podrían ocasionar una fisura que conllevaría a una falla funcional de un mecanismo.

II. MARCO TEÓRICO

A. ENCENDIDO POR CICLO RÁPIDO

En la **Figura 1**, 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 o automático 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 a averías prematuras.

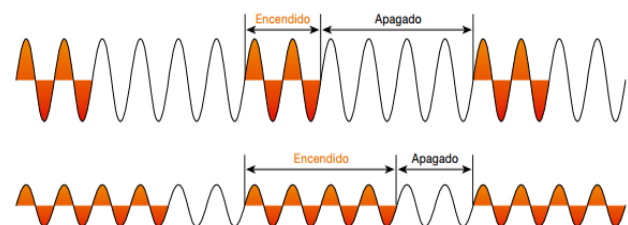


Figura 1: Comportamiento de los thyristores
Fuente: Kanthal GLOBAL SD. Datos Técnicos. [1]

B. TRATAMIENTOS TÉRMICOS USADOS EN EL PROYECTO

Tratamiento térmico del Acero AISI 4340 o 705

Generalidades: 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. Menos susceptibles al fragilizado debido al revenido que los demás aceros aleados para maquinaria. Al combinarse con níquel y cromo soporta altas exigencias de resistencia y tenacidad en secciones grandes. Su contenido de níquel le da más templabilidad, lo mismo que la resistencia en caliente. Combina alta resistencia mecánica (la mayor del mercado) con buena tenacidad. Este acero en forma standard es suministrado bonificado, por lo que no se requeriría luego un tratamiento térmico, sin embargo, si se desea mejores propiedades, puede ser templado en aceite. Susceptible de temple por inducción y también puede someterse a tratamiento de nitrurado. [2]

Tratamientos térmicos:

Temple (830-850°C):

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

Revenido (500-700°C):

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 Ej. Engranajes, deberán ser revenidos a temperatura más bajas, es decir de 200 a 250 °C, lo que dará una dureza de aproximadamente 500HB.

Alivio de tensiones (450-650°C):

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.

Tratamiento térmico del Acero AISI 01 o DF2

Generalidades: Es un acero para herramientas 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. [2]

Tratamientos térmicos:

Temple

En la tabla 1, se muestran algunas características del Temple.

Temperatura de precalentamiento: 600–700°C

Temperatura de austenización: 790–850°C

Tabla 1: Características del Temple

| 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. [2]

Revenido

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

Eliminación de tensiones - estabilizado

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.

III. DISEÑO DE LOS SISTEMAS MECÁNICO-ELÉCTRICO Y NEUMÁTICO.

A. DISEÑO ESTRUCTURAL

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.**

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.

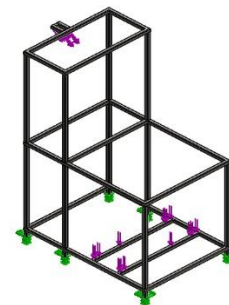


Figura 2: Estructura metálica

ELEMENTOS CRÍTICOS DENTRO DE LA ESTRUCTURA

Dentro de una estructura existen secciones o puntos de la misma que están sujetas a cargas ya sea 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 3.**

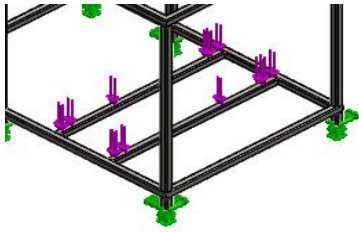


Figura 3: Barras que soportan el peso del horno.

B. DISEÑO ELÉCTRICO

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 en serie existentes en el horno, esto se realiza mediante un contactor para esa cantidad de corriente.

CONEXIÓN DEL CONTACTOR

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 son parte de los relés que se encuentran en el control para piezas cerámicas las cuales se activan con el mismo control, esto se ilustra en la **Figura 4**. Utilizado para separar el control propio de horno y el nuevo control propuesto para el tratamiento térmico de piezas metálicas y que disponga de las dos funciones.

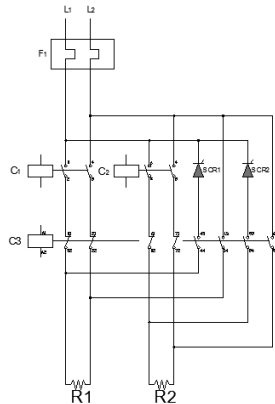


Figura 4: Diagrama de potencia de la conexión entre el contactor y las resistencias calefactoras.

DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONTROL

Para los elementos seleccionados anteriormente a continuación se muestra en la **Figura 5**, el diagrama de conexión entre los dispositivos de control y sus respectivas protecciones para evitar cualquier sobre-voltaje que se pueda producir.

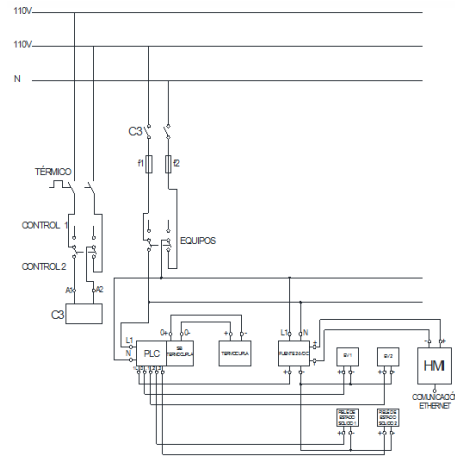


Figura 5: Diagrama de conexiones entre los dispositivos de control

C. 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, revenido y alivio de tensiones a dos tipos de aceros: **Figura 6**.

De acuerdo a la presión suministrada existente en el laboratorio de control industrial donde se van a realizar 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.

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

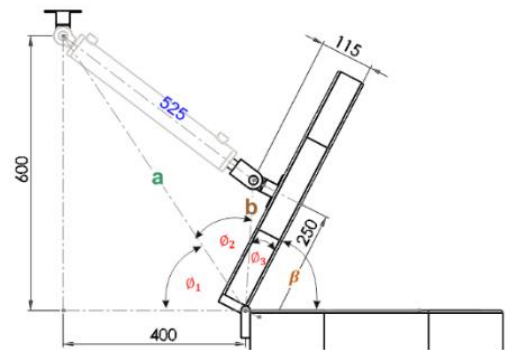


Figura 6: Geometría del sistema de elevación de la tapa del horno

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 7**, se determina la fuerza requerida para levantar la tapa F_{cil} :

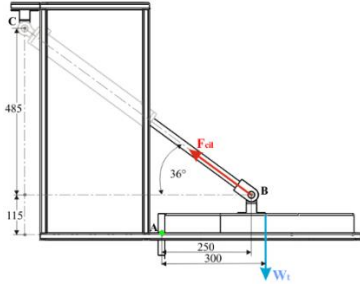


Figura 7: Cargas que actúan sobre el sistema de elevación de la tapa

Se realizará un análisis de momentos para lo cual utilizaremos la ecuación de sumatoria de momentos mostrada a continuación.

$$\sum M_A = 0 \quad (1)$$

$$F_{cil} = 187.5N$$

A partir de ésta fuerza y las dimensiones del cilindro neumático se calcula la presión mínima requerida para elevar la tapa la cual utilizará la siguiente ecuación.

$$p = \frac{F_{cil}}{A_p} \quad (2)$$

$$p = 0.29Mpa = 2.9 \text{ bares}$$

D. 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 8**, 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 mm (11.81 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 psi (6 bares), un diámetro interior del cilindro de 1,378 pulg (35mm), y un acero AISI 1030 como material del vástago.

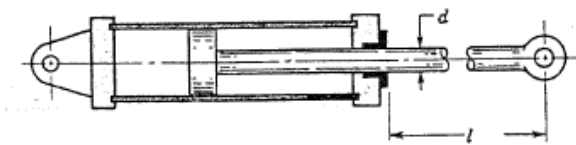


Figura 8. Esquema de un cilindro neumático.

Hay que determinar la fuerza que actúa sobre el vástago

$$F = P \times A \quad (3)$$

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

Utilizando la ecuación de Euler para tamaños de columnas con sección transversal redonda

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

$$d = 0.247 \text{ pulg} = 6.273mm$$

El diámetro mínimo de 0.247 pulg o 6.273mm equivale a un diámetro de vástago mínimo existente en el mercado de 0.30 pulg

o 7.62mm para la fuerza aplicada de 129.75 lbf que actúa sobre el vástago.

Del mismo modo la fuerza crítica que soportará dicho vástago se da por la siguiente fórmula:

$$P_{crmáx}' = \frac{C\pi^2EA}{(l/k)^2} \quad (5)$$

$$P_{crmáx}' = 303.81 \text{ lbf}$$

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:

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

Por lo que la carga crítica del vástago del proyecto ($P_{crvástago-proyecto}$), 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.

E. 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 y el diseño mecánico del vástago.

TRANSFERENCIA DE CALOR DEL HORNO

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 9**, la temperatura interna es de 850°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°C.

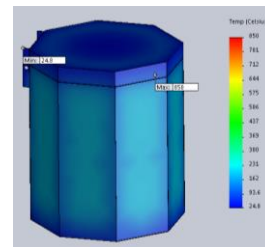


Figura 9. Transferencia de temperatura del horno.

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 10**, 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 $1206,9\text{ W}$.

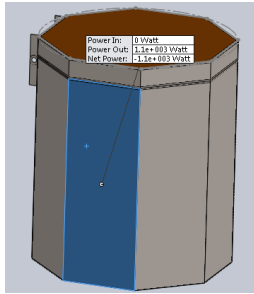


Figura 10. Transferencia de potencia calorífica en una pared del horno.

Ahora la transferencia de calor por dos resistencias térmicas del horno (considerando ocho paredes planas) como se muestra en la **Figura 11**, con un valor de 10281 W y la obtenida en calculos es de 9655.2 W .

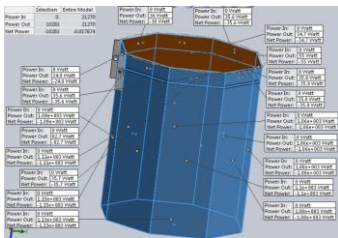


Figura 11. Transferencia de potencia calórica del horno en todo el acero inoxidable.

Y en la **Figura 12**, muestra la transferencia de potencia calorífica 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 .

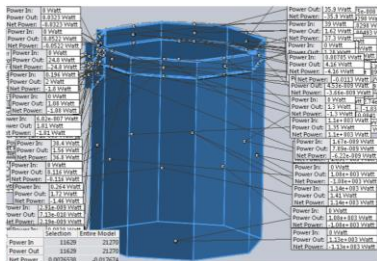


Figura 12. Transferencia de potencia calórica total del horno.

En la **Figura 13**, se muestra el corte por sección del horno donde se aprecia la transferencia de calor a través del ladrillo refractario y el acero inoxidable.

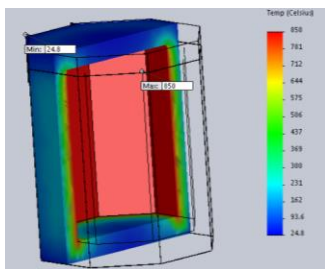


Figura 13. Corte por sección del horno en planta.

En la **Figura 14**, 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.

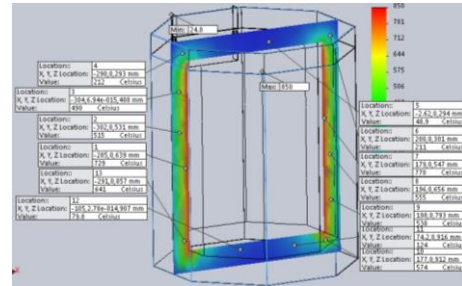


Figura 14. Diferentes puntos de calor en las paredes del horno.

ANÁLISIS DE PANDEO DEL VÁSTAGO

Para el análisis de pandeo del vástago la fuerza mínima requerida para levantar la tapa es de $187,5\text{ N}$, 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 15**, el valor de pandeo máximo que sufre al aplicar la fuerza para levantar la tapa del horno es de $1,34\text{ mm}$, 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.

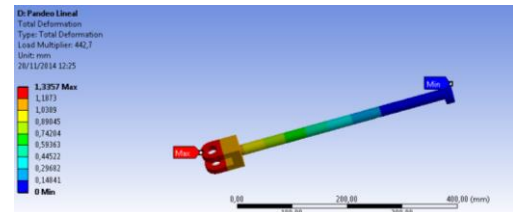


Figura 15. Deformación total por pandeo del vástago.

ANÁLISIS DEL DISEÑO MECÁNICO DEL VÁSTAGO

A partir de una presión de 87 psi (6 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 $0,30\text{ pulg}$ ($7,62\text{ mm}$) con un acero AISI 1030 soporta hasta una fuerza máxima de carga de 303.62 lbf .

El proyecto cuenta con un vástago de 20 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 $24324,17\text{ lbf}$ ($108,19\text{ KN}$) como la crítica, en la **Figura 16**, muestra un factor de diseño de $n_d = 1,54$ por lo cual se concluye que soporta dicha fuerza.

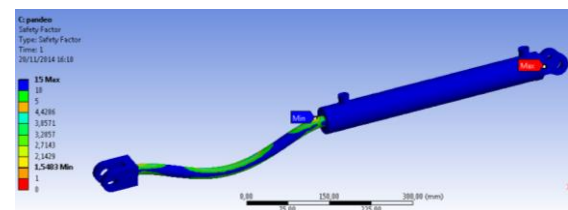


Figura 16. Cilindro y el vástago aplicados la carga crítica.

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.

IV. ANÁLISIS DE DUREZA Y METALOGRAFÍA

Se realizó el ensayo de dureza Rockwell C a los aceros AISI 4340 y AISI 01(DF2) a los que previamente se les sometió a temple para mejorar su dureza y rigidez, cuyos resultados se presentan en la **Tabla 2**.

Tabla 2: Resultados del ensayo de dureza Rockwell C a los aceros AISI 4340 y AISI 01 (DF2).

| UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA | | | | |  | |
|--|------------|-----------------------|----------|---------------------|---|-------------------|
| LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES | | | | | | |
| ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL C | | | | | | |
| 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 | | |
| AISI 4340 | 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 | |
| AISI 01 (DF2) | 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 2**, 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.

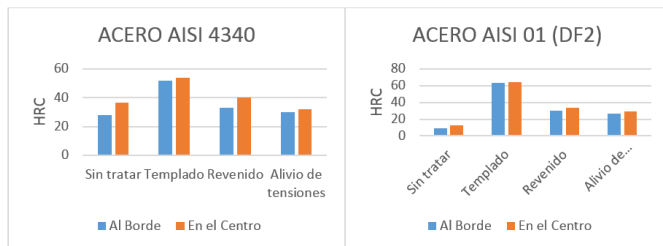


Figura 17: Curvas de la variación de la dureza Rockwell C en los aceros tratados.

Luego se realizó el análisis metalográfico donde se puede observar los cambios microestructurales de los aceros tratados térmicamente para el proyecto como se muestran en las tablas.

Tabla 3: Resumen de las pruebas y tratamientos térmicos realizados en el proyecto para el acero AISI 01 (DF2).




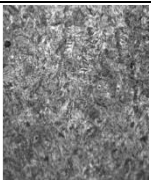






| UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA | | |  | |
|--|----------------|--|---|--|
| LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES | | | | |
| Resumen de las pruebas y tratamientos térmicos realizados en el proyecto para el acero AISI 01 (DF2) | | | | |
| Tratamiento Térmico | Ataque 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 | | | |
| | 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 | | | | |

Tabla 4: 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 |  |  |  |
| | Nital 2 | Microestructura Obtenida sin Revenir | Microestructura Bainítica Obtenida Después del Revenido | Microestructura Bainítica Revenida de ASM HAMDBOOK |
| 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 HAMDBOOK |
| Alivio de Tensiones a 550°C Enfriado en el Horno | |  |  |  |

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.

V. 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 temperatura de un horno para tratamientos térmico utilizado en este proyecto se obtiene un control muy satisfactorio aplicando un control ON - OFF, ya que al tratarse de un proceso lento es óptimo y aconsejable dicho control, presenta un error de estado estacionario muy considerable. 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 porque 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 más rápido del valor de la resistencia de los elementos y a 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 las 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.

VI. 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.
- Utilizar el equipo de protección personal (EPP) adecuado para maniobrar la probeta de acero que se esté dando el tratamiento térmico ya que se manejan altas temperaturas cuando se abre la tapa del horno que pueden ocasionar quemaduras en la integridad física del operario.

- 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.

VII. REFERENCIAS

- [1] 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].
- [2] I. Bohman, «Aceros Ivan Bohman,» 23 Agosto 2014. [En línea]. Available: <http://www.ivanbohman.com.ec/>. [Último acceso: 03 Septiembre 2014].
- [3] Y. A. C. Y. A. J. GHAJAR, Transferencia de calor y masa, Cuarta ed., McGraw Hill Educación.
- [4] R. B. y J. K. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Octava ed., McGraw-Hill Interamericana.
- [5] F. L. S. y. A. Pytel, RESISTENCIA DE MATERIALES, Alfaomega.
- [6] D. R. ASKELAND, CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES, Santiago de Chile: International Thomson Editores, S.A. de C.V., 1998.
- [7] R. L. MOTT, Resistencia de materiales, Mexico: PEARSON EDUCACIÓN, 2009.
- [8] G. d. Investigación, ASM Handbook Heat Treating, vol. 4, International Handbook Committoo, 1991.
- [9] G. d. Investigación, ASM Handbook Metallography and Microstructure, Ohio: International Handbook Committoo, 1991.



profesionales en ELEPCO S.A.

Freddy Rodrigo Romero Bedón nació en Pujilí – Ecuador, el 5 de septiembre de 1989. Cursó sus estudios secundarios en el Instituto Tecnológico Superior “Ramón Barba Naranjo”, en donde obtuvo el título de Bachiller Técnico Industrial en Instalaciones, Equipos y Máquinas Eléctricas. Recibió el grado de Ingeniero en Electromecánica por la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE Extensión Latacunga, en el 2015. En el 2014 realizó sus prácticas



DEL ECUADOR S.A.

Marvin Bryan Rubio Zapata nació en Ventanas– Ecuador, el 13 de mayo de 1990. Cursó sus estudios secundarios en el Colegio Fiscomisional Técnico Pacífico Cembranos, en donde obtuvo el título de Bachiller Especialización Mecánico Industrial. Recibió el grado de Ingeniero en Electromecánica por la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE Extensión Latacunga, en 2015. En el 2013 realizó sus prácticas profesionales en SCHLUMBERGER