

Diseño y construcción de una máquina automática para templeado de resortes para la empresa Suprarain Cia. Ltda.

Gómez Sánchez Germán Andrés
Fernando Naranjo Barba

*Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Eléctrica y Electrónica
Carrera de Ingeniería Electrónica, Automatización y Control*

Abstract

Se realizó el diseño e implementación de una máquina automática de temple de resortes con calentamiento por circulación de corriente y sensor pirométrico para la cuantificación de la temperatura del resorte. Estos resortes son utilizados en los mecanismos de armas de fuego. La máquina posee tres subsistemas por los que se tiene que pasar para completar el proceso de temple. Estos subsistemas son:

- Subsistema de Alimentación.
- Subsistema de Sujeción y calentamiento.
- Subsistema de Enfriamiento.

La fase de alimentación se compone por una rueda giratoria ranurada, con capacidad para lotes de máximo 11 resortes que proveerán continuamente al subsistema de calentamiento. Este subsistema se compone de electrodos de potencia, para que por medio de la circulación de una corriente relativamente alta, el resorte se caliente hasta una temperatura establecida, e inmediatamente después, se envíe al sistema de enfriamiento. El sistema de enfriamiento consiste en un tanque de agua a temperatura ambiente que cuenta con monitoreo continuo de la temperatura del agua en caso del uso continuo de la máquina.

En el proceso de implementación se realizó el diseño mecánico mediante el software de diseño Solidworks.

La máquina posee una interfaz de usuario con un LCD alfanumérico y cuatro pulsadores de navegación. Esta interfaz permitirá el ingreso de parámetros del proceso y ejecución de acciones propias de la máquina. El control del automatismo, que incluye el monitoreo de todas las variables del proceso, manejo de sensores, actuadores e interfaz de usuario, se lo realiza con un microcontrolador PIC18f452. En la interfaz de usuario desarrollada, el operador puede elegir dos acciones: el temple de resortes, ingresando como único parámetro el número de resortes que se desee temple; y un test de hardware de la máquina, donde se verifican todas las condiciones de funcionamiento, incluyendo correcto funcionamiento de los actuadores y sensores.

Con la implementación de la máquina, se mejoró el proceso de temple respecto al método de temple artesanal que se utilizaba anteriormente, mismo que entregaba resultados muy dispersos, con grandes cantidades de resortes erróneamente procesados. Además de mejorar la calidad de los productos, este proyecto permitió eliminar los riesgos de electrocución y quemaduras del operador, ya que durante todo el proceso, el mismo tiene contacto con los resortes solamente durante el proceso de carga y descarga.

Introducción

Las armas de fuego en general son mecanismos accionados manualmente, y como tales funcionan a base de palancas y resortes, es por esto que los procesos relacionados con la producción de resortes son de especial cuidado. Debido a lo peligroso que puede resultar algún tipo de defecto o mal funcionamiento de estos mecanismos, se ha enfocado esta investigación a unos de los procesos críticos para el correcto funcionamiento de las armas de fuego. Los resortes como parte del mecanismo de un arma de fuego son elementos indispensables, ya que de su correcto desempeño mecánico dependen la confiabilidad, funcionalidad y calidad del arma.

Los resortes permiten restituir las posiciones originales de las piezas después de realizar un disparo, y garantizan el avance continuo de la munición, en las siguientes imágenes se puede apreciar la presencia de resortes formando parte de diferentes mecanismos dentro de un arma de fuego. La primera formando parte del seguro del tambor, y el segundo en el

sistema recuperador del martillo del revólver.



Figura 1. Resorte en el seguro del tambor del revólver



Figura 2. Resorte en el recuperador del martillo del revólver

El proceso de temple de resortes, consiste en elevar la pieza metálica a una alta temperatura (propia de cada tipo de material y del grado de dureza y flexibilidad requeridas para el tratamiento) por un intervalo de tiempo determinado, suficiente como para que todo el volumen del material alcance la temperatura deseada, para posteriormente enfriarlo rápidamente.

Proceso de Temple Artesanal

La fabricación de resortes se realizaba en la empresa de manera artesanal, sin estándares de calidad ni procedimientos controlados. El proceso artesanal consistía en que

mediante pinzas utilizadas como ánodo y cátodo, se hacía circular por el bobinado del resorte una corriente eléctrica, proveniente de un variac, hasta observar un cambio de coloración a un color café azulado, para posteriormente arrojarlo a un tanque de agua fría. Este método era poco eficiente debido a la gran cantidad de resortes desperdiciados que no cumplen las características físicas requeridas, además de ser un proceso extremadamente peligroso por la corriente que se maneja y la temperatura a la que llega el resorte cerca de las manos del operador. Este método ha sido desarrollado a base de años de experiencia logrando mejoras en la eficiencia de los resultados pero sin embargo el consumo de recursos, el peligro y tiempo del proceso seguían siendo problemas importantes.

Descripción de Variables del Proceso

Para la determinación de las condiciones y valores adecuados de temperatura y tiempos de cada etapa del proceso del temple, se analizaron los resultados que se deseaba obtener realizando experimentos donde se midieron las características físicas de los resortes tratados, estos resultados se compararon después con los resultados del temple automatizado.

Dependiendo de estas características se logró determinar todas las condiciones que se debían controlar y monitorear dentro de la máquina para obtener un resultado óptimo en cada resorte templado.

Como primer punto, se estudió la constante de elasticidad que se obtiene del método de temple artesanal utilizado anteriormente, para utilizarla como punto de referencia al momento de calibrar el sistema automático. Tomando en cuenta la Ley de Hooke que enuncia:

$$F = k \cdot x$$

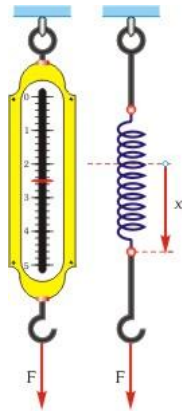


Figura 3. Ley de Hooke – parámetros de los resortes

Siendo F la fuerza que origina la deformación del resorte, k es la constante de rigidez del resorte (N/m) y x es su elongación o deformación (m).

Se realizaron una serie de ensayos con los resortes templados de la manera artesanal, midiendo la deformación que se produce al aplicar una fuerza constante conocida, de esta manera se puede determinar cuál es la constante de elasticidad k , antes y después de proceso de temple, con estos datos se pudo observar el grado de mejora que se obtenía anteriormente y basarnos en esta información para contrastar resultados al momento de experimentar con los resortes templados de manera automática.

Una vez determinados los parámetros físicos requeridos por el proceso, se procedió a seleccionar el método de calentamiento de entre las siguientes opciones:

- Calentamiento por horno de gas
- Calentamiento por horno eléctrico
- Calentamiento por corrientes inducidas de alta frecuencia.
- Calentamiento por corriente eléctrica.

Temple con calentamiento por corriente eléctrica.

Consiste en hacer circular por el resorte una corriente eléctrica suficientemente alta como para elevar su temperatura hasta un nivel deseado (Efecto Joule).

Ventajas: Sistema de bajo consumo energético, limpio, mantenible, de fácil diseño y fácil sistema de control, equipo de tamaño reducido y liviano, la temperatura que se consigue en el material es uniforme, desgaste casi nulo de los actuadores, sistema de bajo costo de implementación.

Desventajas: Sistema de medición de temperatura complejo, tasa de producción baja, cantidad de corriente muy elevada y consumo excesivo de energía eléctrica para piezas de gran volumen.

Una vez que se analizó todas las alternativas posibles, se escogió este sistema de calentamiento por **corriente eléctrica**, debido a sus ventajas y a que el elemento a calentarse es un espiral de alambre delgado y por lo tanto la corriente necesaria para calentar este elemento es mínima, además de ser el sistema menos costoso, y de más sencilla implementación. El problema de la medición de temperatura complejo se solucionó utilizando un sensor pirométrico. Este sistema es ideal para la aplicación debido a que no se requiere producción masiva de resortes.

Cálculos importantes

De la hoja de datos de la norma de acero de resortes ASTM A232 se obtiene que la temperatura de tratamiento es de 200°C aproximadamente, para elevar al material hasta esta temperatura se calcula la corriente que se debe hacer circular por el material.

Dado que el resorte representa una carga RL con inductancia despreciable, se considera que la potencia eléctrica consumida se convertirá en su totalidad en calor, de donde:

$$P = I^2 R \quad (\text{Potencia Eléctrica})$$

$$E = Pt = Q \quad (\text{Conservación de la Energía})$$

Dónde:

P = Potencia eléctrica consumida [W]

I = Corriente eléctrica que circula por el resorte [A]

R = Resistencia del bobinado del resorte [Ω]

E = Energía Eléctrica consumida [J]

Q = Energía Calorífica [Cal]/[J]

t = Tiempo [seg].

También conocemos:

$$Q = C_e m \Delta \theta \quad (\text{Transferencia de Calor})$$

Dónde:

C_e = Calor específico del material [J/Kg.K]

m = Masa del resorte [Kg]

θ = Temperatura del resorte [K]

Igualando:

$$Pt = I^2 Rt = C_e m \Delta \theta$$

Conocemos que el calor específico del acero es aproximadamente 490 J/Kg.K, y en promedio, la resistencia medida de los resortes es 0.38 Ω , y su masa es de 3 gramos, remplazando:

$$I^2(0.38)t = 490(3 \times 10^{-3})\Delta \theta$$

Asumimos una temperatura ambiente de 20°C, y un tiempo del proceso de 10 segundos, por lo tanto:

$$\Delta \theta = 180^\circ C = 180 K$$

$$I^2(0.38)(10) = 490(3 \times 10^{-3})(180)$$

$$I = \sqrt{69.63} = 8.34 A$$

Posteriormente se dimensionara los elementos eléctricos que cumplan con esta demanda.

Partes constitutivas de la máquina

La solución planteada para la automatización del proceso del temple de resortes se realizará en tres etapas por las que pasara cada resorte para garantizar su desempeño y funcionamiento. Estas etapas se detallan en el siguiente diagrama de bloques para posteriormente describir cada etapa tanto física como funcionalmente dentro de la máquina de temple.



➤ Alimentador de Resortes

La etapa de alimentación de resortes es el inicio del proceso de temple de la máquina, consiste en una rueda ranurada, con una capacidad máxima para 11 resortes, en las ranuras de la rueda se colocan manualmente los resortes para el constante abastecimiento de materia prima que es entregada a las siguientes etapas del proceso.

Esta rueda de colocación manual es accionada por un motor eléctrico que gira la rueda en un solo sentido, una ranura a la vez, la rueda ranurada tiene una cubierta cilíndrica con dos agujeros, uno que permite cargarla con resortes, y otro, en su parte inferior, que deja caer los resortes uno a uno sobre un plano inclinado al final del cual se ha colocado un magneto. El sistema descrito anteriormente permite la entrega

del resorte de una manera automática y controlada, a la siguiente etapa del proceso.

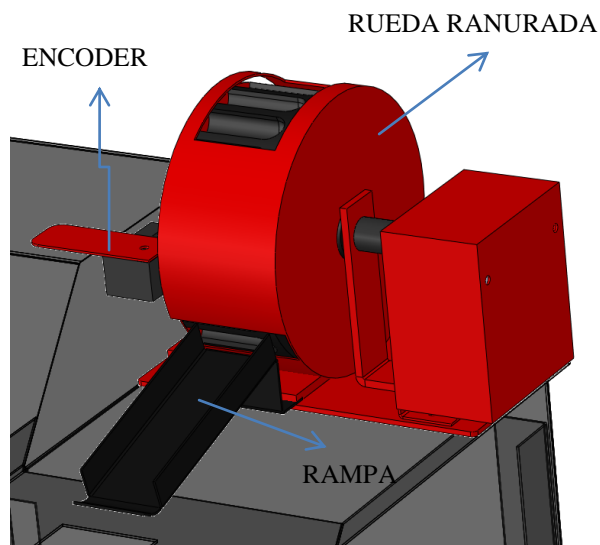


Figura 4. Sistema Mecánico de Alimentación

➤ Etapa de calentamiento

Es esta etapa se procede a ajustar automáticamente el resorte entre dos bornes de bronce, colocados en una pinza servo-controlada que toma el resorte en el punto de entrega del sistema de alimentación, para luego retirarlo hasta el foco del pirómetro y permitir el flujo de corriente, generado por un circuito de potencia capaz de entregar una corriente adecuada. De esta forma se consigue que el material llegue a la temperatura deseada a lo largo de todo el resorte de manera uniforme.

Una vez llevado a la temperatura deseada verificada por el sensor pirométrico, el sistema detiene el paso de corriente por el resorte y abre los electrodos que lo sostienen para dejarlo caer a la siguiente etapa del proceso.

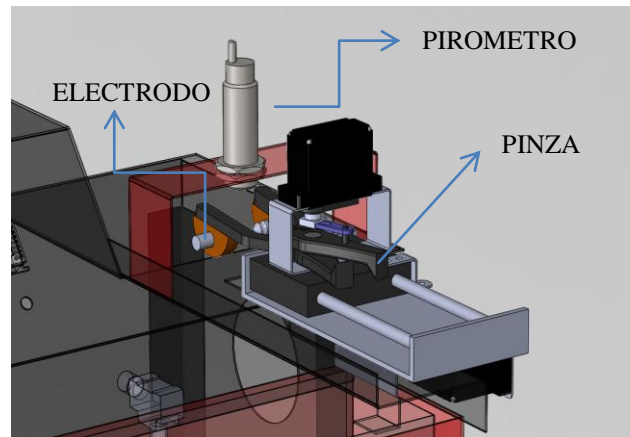


Figura 5. Sistema de Sujeción y Calentamiento

➤ Etapa de enfriamiento

Esta etapa finaliza el proceso de temple, consiste en enfriar al resorte de manera inmediata una vez que se alcance la temperatura especificada. El medio de enfriamiento puede variar dependiendo del volumen y características del material que se desea enfriar, en la industria podemos encontrar varias opciones como por ejemplo: agua, agua salada, aceite, mercurio, Nitrógeno líquido, aire, etc. Para las dimensiones y material de los resortes que se desean temprar es más que suficiente la utilización de agua a temperatura ambiente para el enfriamiento de estos elementos.

Una vez culminado el proceso de temple, los resortes pueden ser retirados del tanque de enfriamiento de forma manual haciendo uso de una rejilla de extracción que ha sido instalada para este fin.

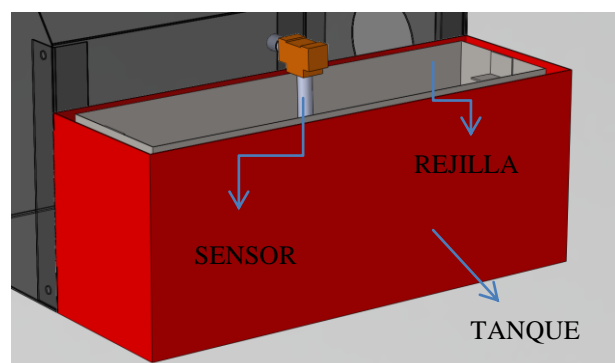


Figura 6. Sistema de Enfriamiento

Diseño Mecánico

Toda la máquina posee un soporte de chapa metálica de acero de 0,9mm de espesor que aloja los tres sistemas principales dándole soporte y el espacio justo para cada mecanismo, cables e interfaz. Además de prestar la fijación para que el sistema sea resistente a traslados o maltratos. Este diseño de la estructura de la maquina se realizó pensando en la seguridad del operario para que jamás este en contacto con los resortes que se encuentren calentándose y/o la corriente circulante, y que sea absolutamente cómodo y fácil en su manejo. Es por ello que la interfaz se encuentra en un plano inclinado justo frente al operario con acceso directo a los pulsadores y al paro de emergencia ubicado en la parte superior de la máquina. Toda la estructura principal posee un espacio interior que permite la inclusión de la fuente de alimentación, circuitería y elementos de conexión de los actuadores. Las tapas que cubren los dos extremos de la caja tienen agujeros para colocar el ventilador que tiene como objetivo enfriar la tarjeta electrónica. Otra parte fundamental del diseño de la maquina son las cubiertas de los mecanismos para que ningún actuador o motor esté al alcance del operador y todas las partes críticas de alimentación y calentamiento no puedan moverse o alterarse manualmente.

En la etapa de alimentación también se encuentra un motor con reducción mecánica acoplada al eje de la rueda ranurada, para el cual se fabricó una cubierta exclusiva de chapa metálica de 0,9mm de espesor. La máquina se muestra en la figura 7, con un terminado final de pintura electrostática negra y roja texturizada.

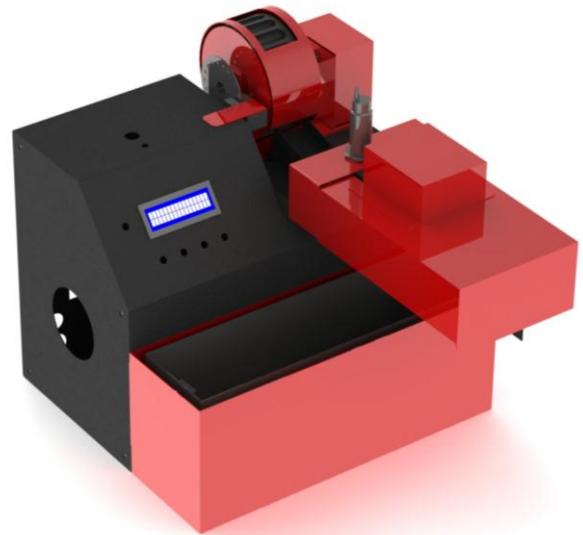


Figura 7. Ensamble de la máquina

Sistema Eléctrico

El sistema eléctrico del equipo se encarga de maniobrar todos los actuadores, monitorizar el estado de los sensores y manejar la interfaz de usuario de manera que se logre una completa automatización del proceso de temple, consiguiendo que el operador solamente se encargue de alimentar el equipo y especificar la cantidad de resortes que necesita temprar.

Para facilitar la descripción del sistema eléctrico del equipo se lo ha dividido en varios subsistemas utilizando un criterio de clasificación basado en la funcionalidad. En la figura 8 podemos observar un diagrama de bloques del sistema eléctrico, en el que podemos observar los diferentes subsistemas que lo componen:

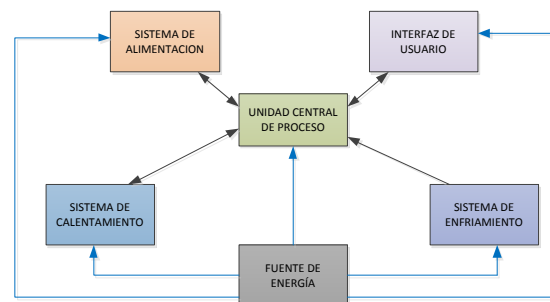


Figura 8. Diagrama de bloques Sistema Eléctrico

A continuación se explica brevemente cada elemento del sistema eléctrico:

Sistema de alimentación

El sistema de alimentación es el encargado de llevar los resortes almacenados por el operador en la rueda ranurada, de manera automática hacia el sistema de calentamiento. Los elementos que lo conforman son los siguientes:

- Motor de la rueda ranurada (motor DC con reducción mecánica)
- Encoder (Permite girar la rueda un paso a la vez)
- Vibrador (garantiza la entrega correcta de resortes al final del plano inclinado)

Sistema de calentamiento y sujeción

Es el encargado de maniobrar la pinza servo-controlada, monitorear el sensor de temperatura pirométrico y accionar el circuito de potencia, para que el resorte sea recogido desde el sistema de alimentación, se lo coloque dentro del campo de medición del sensor pirométrico, se haga circular corriente para calentar el material y una vez que se detecte que ha alcanzado la temperatura adecuada, se lo suelte en el tanque de enfriamiento.

Los elementos que forman este sistema son los siguientes:

- Servomotores (DC 5V, marca Hitec).
- Sensor pirométrico (tipo infrarrojo, salida 0 a 5 VDC).
- Circuito de potencia y detección del resorte.

Sistema de enfriamiento

Consiste en soltar el resorte en un tanque con agua fría inmediatamente después de que ha sido alcanzada la temperatura de temple. En esta parte del proceso, es especialmente importante asegurarse de que el tanque se encuentra colocado en su sitio al momento de templar los resortes y además, se ha considerado necesario monitorizar la

temperatura del agua, de manera que el equipo no permita el temple de ningún resorte si el agua se ha elevado por encima de los 35 °C.

Los elementos de este subsistema se listan a continuación:

- Detección de la presencia del tanque, mediante un microswitch colocado adecuadamente.
- Sensor de temperatura LM35, que monitorea la temperatura del agua en el tanque.

Interfaz de usuario

Permite al operador utilizar el equipo de manera fácil e intuitiva, presenta indicadores visuales y auditivos que sirven de guía para el correcto uso de la máquina. La interfaz de usuario estará formada por los siguientes elementos:

- LCD alfanumérico de 16 caracteres por 2 filas.
- Pulsadores de navegación (4: arriba, abajo, enter y escape).
- Switch de emergencia.
- LEDS indicadores.
- Buzzer.

Descripción General del Firmware

El microcontrolador elegido como unidad central de procesamiento del equipo se puede programar utilizando diferentes lenguajes de bajo y alto nivel, como son: ensamblador, C, C++ o basic. El lenguaje elegido para desarrollar el firmware es C, pues ofrece tanto las bondades de un lenguaje de bajo nivel (rapidez de ejecución y facilidad de depuración), como las de uno de alto nivel (existencia de librerías y funciones complejas ya desarrolladas por el fabricante del compilador).

El entorno de programación que se utilizó para desarrollar el firmware es el IDE de la firma CCS para Microcontroladores Microchip, denominado PCW o simplemente PICC.

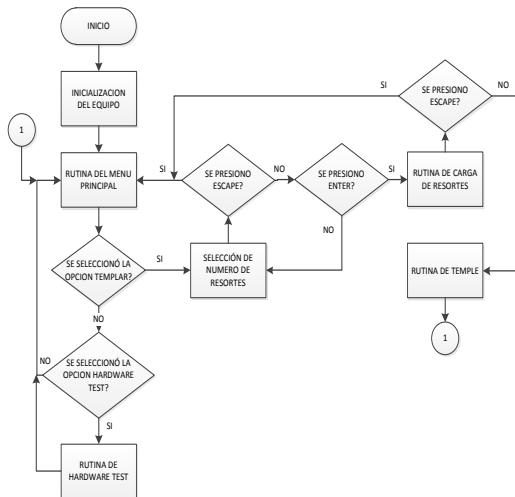
El firmware desarrollado permite manejar todos los sensores y actuadores que forman

el sistema, así como también gestiona el manejo de la interfaz de usuario.

El código se ha desarrollado a manera de rutinas, de modo que es fácilmente comprensible y depurable. A continuación se presentan los diagramas de flujo que explican el comportamiento de cada rutina:

Rutina principal

Es la parte fundamental del código y maneja el funcionamiento general del equipo, en esta rutina se gestiona el movimiento a través de todas las demás subrutinas, se monitoriza el estado del equipo y la interfaz de usuario.



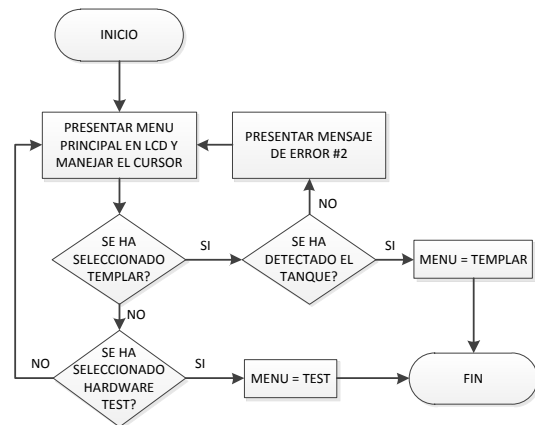
Rutina de inicialización del equipo

Esta rutina se encarga de fijar los valores iniciales de todas las variables del programa, de modo que se puede comenzar con la operación del equipo.



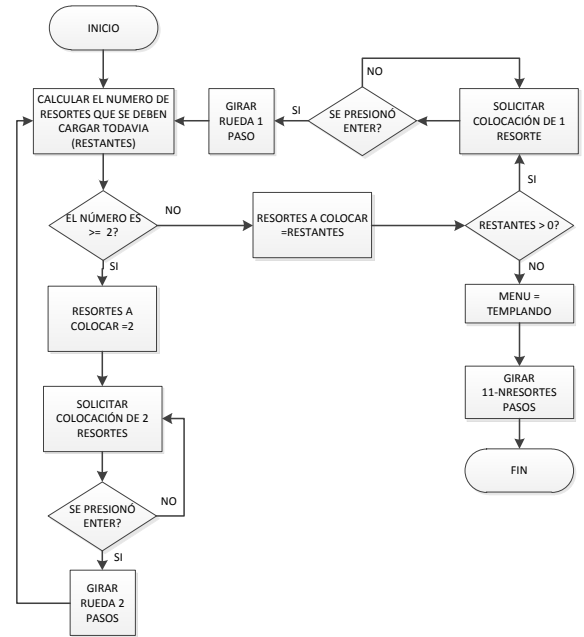
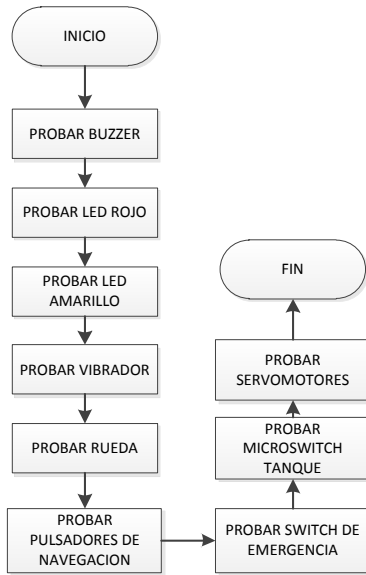
Rutina del menú principal

Esta rutina se encarga de presentar el menú principal en la interfaz de usuario y permitir al operador seleccionar si desea iniciar el proceso de temple o probar el hardware del equipo.



Rutina del test de hardware

Permite al operador comprobar el correcto funcionamiento de todos elementos eléctricos del equipo.

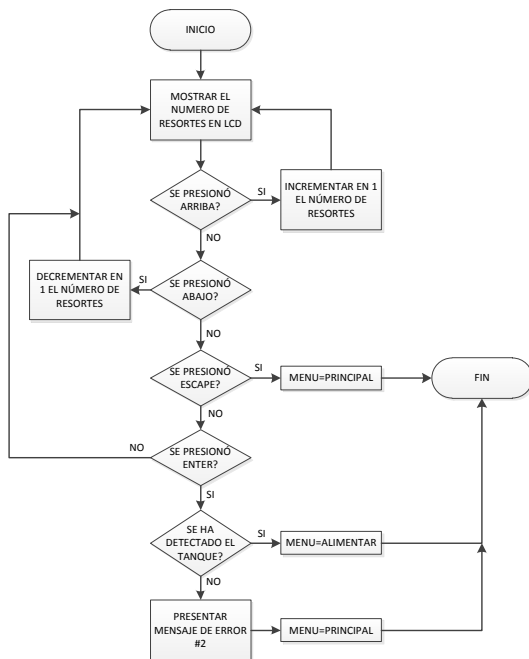


Rutina de selección de número de resortes

Esta rutina le permite al operador seleccionar cuantos resortes quiere templar entre 1 y 11

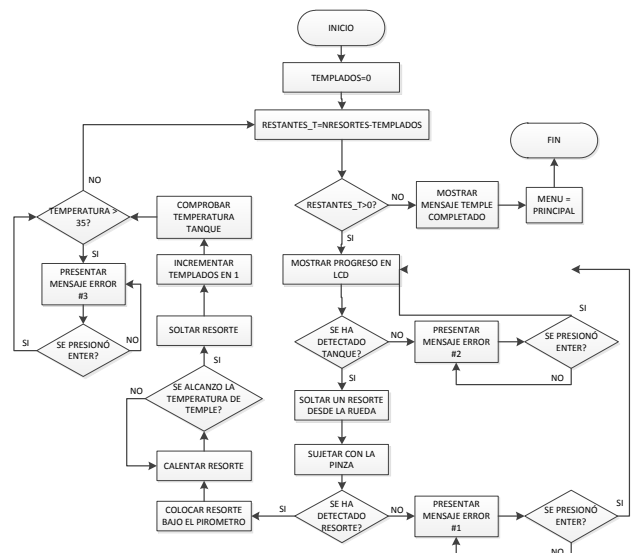
Rutina de temple

Esta rutina es encargada de manejar el sistema de sujeción y calentamiento, de manera que el resorte sea recogido desde el alimentador, sea calentado hasta la temperatura óptima y finalmente se lo suelte sobre el tanque de enfriamiento. Este proceso se repetirá tantas veces como resortes haya solicitado templar el operador anteriormente.

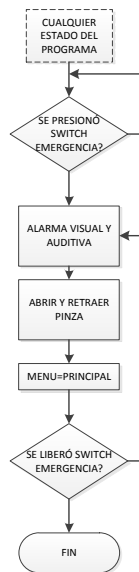


Rutina de carga de resortes

Esta rutina se encarga de maniobrar el alimentador de manera que mediante la interacción del operador con la interfaz de usuario, sea posible cargar el alimentador con la cantidad de resortes especificada en el menú anterior.



Rutina de emergencia



Conclusiones

Al finalizar la implementación del presente proyecto se ha podido observar la introducción de mejoras sustanciales en el proceso de temple de resortes a comparación con la metodología artesanal que se utilizaba originalmente en la empresa para la cual se ha desarrollado el trabajo. Entre las ventajas más significativas conseguidas con la creación de un equipo automatizado de temple, se puede destacar las siguientes:

- Se ha introducido una significativa mejora en la calidad del producto final, pues al utilizar una máquina automática para realizar el proceso de temple, está garantizada la uniformidad de todos los ejemplares tratados, y, mediante la realización de varias pruebas experimentales, se ha logrado obtener una temperatura de temple óptima, a la cual se obtienen excelentes resultados en cuanto a dureza y elasticidad de los resortes tratados.
- Se ha reducido al mínimo el riesgo que corre el operador encargado del proceso respecto a la forma de trabajar anterior, pues la metodología que se utilizaba anteriormente requería que el operador este expuesto a materiales

con elevada temperatura, existía peligro de electrocución y una mala maniobra podía producir accidentes graves. La utilización del equipo diseñado aísla al operador completamente de los riesgos antes mencionados pues el único contacto que tiene el usuario de la máquina con los resortes es al momento de colocarlos en el alimentador, y al retirarlos una vez que el proceso ha concluido y estos se han enfriado. La etapa de calentamiento del material se realiza dentro de un compartimento aislado, de manera que resulta inaccesible para el operador. Además, todas las situaciones en las que existe algún peligro son monitorizadas por el sistema de control del equipo, de esta forma, se garantiza la seguridad del operador en todo momento.

- Se ha incrementado significativamente la eficiencia del proceso de temple. Ya no es necesario ningún tipo de calibración de voltaje, por lo que el material desperdiciado se reduce al mínimo. La automatización del proceso permite templar con precisión más resortes en menos tiempo, sin esfuerzo adicional del operador, lo que mejora la productividad y reduce costos de producción y anula por completo los desperdicios.

Agradecimientos

A la Escuela Politécnica del Ejército, especialmente al Departamento de Eléctrica y Electrónica por todo el apoyo y conocimientos que nos brindó, desde el momento que ingresamos como estudiantes. Sus sabios conocimientos y experiencias han sido de gran ayuda para que nuestro trabajo de investigación llegue a feliz término.

Datos de Contacto:

Germán Andrés Gómez Sánchez. ESPE DEEE.
andresgomez_s@hotmail.com

Fernando Naranjo Barba. ESPE DEEE.
fnaranjob@suprarain.com

