ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA

"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA TEMPLADO DE RESORTES PARA LA EMPRESA SUPRARAIN CIA. LTDA."

GERMÁN ANDRÉS GÓMEZ SÁNCHEZ

FERNANDO NARANJO BARBA

SANGOLQUÍ - ECUADOR

2011

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente proyecto de grado titulado: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA TEMPLADO DE RESORTES PARA LA EMPRESA SUPRARAIN CIA. LTDA.", ha sido desarrollado en su totalidad por el señor GERMÁN ANDRÉS GÓMEZ SÁNCHEZ con CI: 171467274-6, y el señor FERNANDO NARANJO BARBA con CI: 172240997-4, bajo nuestra dirección.

Atentamente

Ing. Galo Guarderas
DIRECTOR

Ing. Diego Morillo
CODIRECTOR

RESUMEN

El presente documento expone 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 templa; 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.

DEDICATORIA

Se lo dedicamos a nuestros padres y hermanos que fueron apoyo incondicional y principal fuente de conocimientos y valores. A nuestros amigos y familia que formaron la idea de superación y sed de logros en nosotros.

AGRADECIMIENTO

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.

PRÓLOGO

Esta tesis presenta el diseño y construcción de una máquina de temple de resortes, debido a la importancia de estos elementos en el complejo mecanismos de un arma de fuego. La empresa Suprarain Cia. Ltda. fabrica íntegramente los resortes que son parte del producto final que se expende. Es por ello que cada proceso relacionado con el funcionamiento de los resortes es de especial cuidado y motivo de esta investigación. Anteriormente se realizaban procesos artesanales poco controlados para el temple de resortes, consiguiendo grandes cantidades de resortes defectuosos y pérdidas de materia prima.

La presente investigación pretende mejorar la calidad de los resortes que son incluidos en los mecanismos de las armas de fuego, logrando confiabilidad en su funcionamiento y por consecuencia mayor calidad en el producto final, además incrementar de forma sustancial la productividad de resortes, minimizando las perdidas y acortando el tiempo empleado para este proceso. Esto significará en términos generales una mayor productividad de la empresa con resultados garantizados.

CONTENIDO **Págs.**

I. FUNDAMENTOS TEÓRICOS 1

1.1. INTRODUCCIÓN 1
1.2. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO 2
1.3. EL TRATAMIENTO TÉRMICO DEL ACERO 4
1.4. TIPOS DE TRATAMIENTO TÉRMICO DEL ACERO 4
1.5. EL TEMPLE 6
1.5.1. Temperatura adecuada para el temple 8
1.5.2. Duración del calentamiento (permanencia a temperatura) 9
1.5.3. Enfriamiento 11
1.5.4. Influencia de diversos factores en el temple del acero 13
1.5.4.1. Influencia del tamaño de la pieza 13
1.5.4.2. Influencia del medio de enfriamiento 15
1.5.5. Selección del medio de enfriamiento 17
1.5.5.1. Medios de enfriamiento más utilizados 18
1.6. LOS RESORTES Y SUS CARACTERÍSTICAS 19
1.6.1. Tipos de resortes 20
1.6.2. Física del resorte 20
1.7. CONTROL ON - OFF 21
1.8. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR 23
1.8.1. Tipos de pirómetros 26

II. ESTUDIO DEL PROCESO Y PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES 28

2.1. INTRODUCCIÓN 28
2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TEMPLE ARTESANAL 30
2.3. PLANTEAMIENTO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS 32
2.3.1. Calentamiento por Horno de Gas 33
2.3.2. Calentamiento por Horno Eléctrico 33
2.3.3. Calentamiento por Corrientes Inducidas de alta frecuencia 34
2.3.4. Calentamiento por corriente eléctrica 34
2.4. DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES CONSTITUTIVAS DE LA MÁQUINA 35
2.4.1. Alimentador de Resortes 36
2.4.2. Etapa de Calentamiento 36
2.4.2.1. Estrategia de control 37
2.4.2.2. Requerimientos del Sensor 38
2.4.3. Etapa de Enfriamiento 39
2.5. DESCRIPCIÓN DE VARIABLES DEL PROCESO 40
2.5.1. Calculo de Variables del Proceso 44

III. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN 47

3.1. DISEÑO MECÁNICO 47
3.1.1. Sistema de Alimentación 48
3.1.2. Sistema de sujeción y calentamiento 50
3.1.3. Sistema de Enfriamiento 51
3.1.4. Estructura Soportería y Cubiertas 52
3.2. SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO 54
3.2.1. Descripción general del sistema eléctrico y electrónico 54
3.2.2. Elementos del sistema 54
3.2.3. Sistema de alimentación 55
3.2.4. Sistema de calentamiento y sujeción 58
3.2.5. Sistema de enfriamiento 63
3.2.6. Interfaz de usuario 65
3.2.7. Unidad central de proceso 68
3.2.8. Fuente de energía 70
3.2.8.1. Cálculo de la fuente para calentamiento del resorte 71
3.2.8.2. Resumen de requerimientos de la fuente 71
3.3. ARQUITECTURA DE HARDWARE 72
3.3.1. Entradas 74
3.3.2. Salidas 78
3.4. DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO 82
3.5. FIRMWARE 85
3.5.1. Descripción general del firmware 85
3.5.2. Diagramas de flujo 85
3.5.2.1. Rutina principal 86
3.5.2.2. Rutina de inicialización del equipo 86
3.5.2.3. Rutina del menú principal 87
3.5.2.4. Rutina del test de hardware 88
3.5.2.5. Rutina de selección de número de resortes 89
3.5.2.6. Rutina de carga de resortes 90
3.5.2.7. Rutina de temple 91
3.5.2.8. Rutina de emergencia 93
3.5.3. Código 94
3.5.3.1. Rutina Principal 94
3.5.3.2. Rutina de inicialización 94
3.5.3.3. Rutina del menú principal 95
3.5.3.4. Rutina de selección del número de resortes 96
3.5.3.5. Rutina de carga de resortes 97
3.5.3.6. Rutina de temple 98
3.5.3.7. Rutina de test de hardware 100
3.5.3.8. Rutina de emergencia 101
3.5.3.9. Interrupciones 102

IV. ANÁLISIS DE COSTOS 104

4.1. MATERIALES MECÁNICOS 104
4.2. MATERIALES ELÉCTRICOS 105
4.3. COSTOS TOTALES 105

V. PRUEBAS Y RESULTADOS 107

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 111

6.1. CONCLUSIONES 111
6.2. RECOMENDACIONES 112

VII. ANEXOS 114

CAPITULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1. Introducción

Las armas de fuego en general son mecanismos accionados manualmente y como tales funcionan a base de palancas y resortes, por lo 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 irremplazables e indispensables, ya que de su correcto desempeño mecánico dependen la confiabilidad, funcionalidad y calidad del arma, debido a esto, cada proceso al que se someten los resortes durante su manufactura se describirá y analizará cuidadosamente.

Se estudiará la estructura y el tratamiento al que se somete los resortes para posteriormente, con una base teórica sólida, poder diseñar una máquina de tratamiento térmico de resortes con un desempeño adecuado, que garantice la calidad de las armas de fuego.

Como antecedente, la fabricación de resortes se realiza en la empresa de manera artesanal, sin estándares de calidad ni procedimientos controlados. El proceso artesanal consiste en que mediante pinzas utilizadas como ánodo y cátodo, hacen circular por los bornes del resorte una corriente superior a los 20A, proveniente de un variac, hasta observar un cambio de coloración a un color amarillo azulado, para posteriormente arrojarlo a un tanque de agua fría. Este método es 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 a 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 y tiempo siguen siendo deficientes. Como objetivo de la presente investigación se pretende optimizar el proceso de temple de resortes haciéndolo mucho más seguro para el operador, minimizando desperdicios y empleando el menor tiempo para esta tarea.

El proceso final por el que tiene que pasar un resorte para ser utilizable es el temple (tratamiento térmico de endurecimiento) que altera la estructura molecular del material del resorte haciéndolo más duro, resistente y/o elástico, y por tanto aumentando su constante $\boldsymbol{k}$ (constante de elasticidad), además, un resorte sin temple no mantiene su constante $\boldsymbol{k}$ a lo largo del tiempo, es decir, se desgasta y pierde sus propiedades elásticas.

El acero, material que se utiliza para fabricar resortes, permite una amplia gama de tratamientos para acondicionar las características mecánicas de cada pieza al trabajo que va a realizar, cada uno de estos métodos se mostrarán en apartados posteriores para establecer diferencias entre los diferentes tipos de tratamiento y encontrar el proceso y recursos más idóneos para el manejo de este trabajo.

Posteriormente, se utilizará toda esta información como base teórica para lograr fabricar una máquina lo suficientemente confiable, y garantizando el correcto desempeño de cada resorte que se obtendrá del proceso.

1.2. Propiedades Mecánicas del Acero

Se conoce como acero a una amplia gama de aleaciones compuestas de un elemento metálico y un no metal, esta familia de aleaciones se compone de hierro considerado un metal duro, y de carbono un elemento blando. Lo que hace posible su fundición es la diferencia de radios atómicos de los elementos que hacen que el de menor diámetro

(carbono) se incruste en los átomos de mayor radio (hierro), produciendo que el resultado sea un compuesto que conserva las características metálicas del hierro pero con propiedades mejoradas para diferentes aplicaciones, es por ello que las propiedades varían dependiendo del tipo y porcentajes de los elementos que componen esta amplia gama de elementos conocidos como aceros.

Se considera que las propiedades mecánicas del acero varían dependiendo de los porcentajes de los elementos que componen dicha aleación, pero se considera como propiedades genéricas las siguientes:

Resistencia: Es la oposición al cambio de forma y a las fuerzas externas que afectan las condiciones de reposo.

Elasticidad: Capacidad de un cuerpo de recobrar su forma al dejar de actuar una fuerza que lo ha deformado.

Plasticidad: Es la capacidad de deformación de un metal sin que llegue a romperse, si la deformación se produce por alargamiento se llama ductilidad, y si es por compresión la llamamos maleabilidad.

Fragilidad: Es la propiedad que expresa la falta de plasticidad, o susceptibilidad a la ruptura del elemento cuando se sobrepasa el límite de elasticidad.

Tenacidad: Se define como resistencia a la rotura por esfuerzos que deforman el metal, conocido también como capacidad de dilatación.

Dureza: Es la propiedad que expresa el grado de deformación permanente que sufre un metal bajo la acción directa de una fuerza determinada.

Ductilidad: Es la capacidad que tienen los materiales para sufrir deformaciones a tracciones relativamente altas, hasta llegar al punto de fractura.

Resilencia: Es la capacidad que presentan los materiales para absorber energía por unidad de volumen en la zona elástica.

Cuando un proceso de tratamiento térmico se lleva a cabo, se realiza un cambio a nivel molecular afectando todas las características físicas antes mencionadas. Cada tratamiento difiere en su procedimiento dependiendo la propiedad mecánica a la que se quiere afectar. Para el caso de los resortes, el procedimiento que se realiza es el temple,

pues este tipo de tratamiento tiene directa influencia sobre la resistencia, elasticidad, plasticidad, tenacidad y dureza del material.

1.3. El tratamiento térmico del acero

El tratamiento térmico del acero se lo realiza para modificar la estructura atómica del acero. Debido a su naturaleza los materiales ferrosos son los que mejor reaccionan a estos tratamientos. Estos procesos se los realiza con la finalidad de modificar las propiedades mecánicas del acero y así asignar garantías para los trabajos demandados, esto se logra modificando atómicamente el material logrando mejores condiciones a la resistencia y al desgaste.

Con el tratamiento térmico adecuado se pueden reducir los esfuerzos internos, el tamaño del grano, incrementar la tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil. La clave de los tratamientos térmicos consiste en las reacciones que se producen en el material, tanto en los aceros como en las aleaciones no férreas, y esto ocurre durante el proceso de calentamiento y enfriamiento de las piezas, con unas pautas o tiempos establecidos.

El tratamiento térmico consiste en calentar el acero a una temperatura determinada, mantenerlo a esa temperatura durante un cierto tiempo hasta que se forme la estructura deseada y luego enfriarlo a la velocidad conveniente. Los factores temperatura-tiempo son muy importantes y deben ser estudiados dependiendo del material, tamaño y forma de la pieza, y obviamente de las condiciones finales que se desea otorgar al material.

1.4. Tipos de tratamiento térmico del acero

Dado que las propiedades mecánicas del acero requeridas por distintas aplicaciones son muy variadas, es normal suponer que existen diferentes formas de realizar el tratamiento

térmico del material para conseguir los objetivos específicos deseados, tomando esto en cuenta, la clasificación básica de los tipos de tratamiento térmico del acero es la que sigue:

Temple: su finalidad es aumentar la dureza y la resistencia del acero. Para ello, se calienta el acero a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior (entre 900 y 950° C) y se enfría luego rápidamente (según características de la pieza) en un medio como agua, aceite, etc.

Revenido: Sólo se aplica a aceros previamente templados, para disminuir ligeramente los efectos del temple, conservando parte de la dureza y aumentando la tenacidad. El revenido consigue disminuir la dureza y resistencia de los aceros templados, se eliminan las tensiones creadas en el temple y se mejora la tenacidad, dejando al acero con la dureza o resistencia deseada. Se distingue básicamente del temple en cuanto a temperatura máxima y velocidad de enfriamiento.

Recocido: Consiste básicamente en un calentamiento hasta temperatura de austenización (800 – 925 °C) seguido de un enfriamiento lento. Con este tratamiento se logra aumentar la elasticidad, mientras que disminuye la dureza. También facilita el mecanizado de las piezas al homogeneizar la estructura, afinar el grano y ablandar el material, eliminando la acritud que produce el trabajo en frío y las tensiones internas.

Normalizado: tiene por objeto dejar un material en estado normal, es decir, ausencia de tensiones internas y con una distribución uniforme del carbono. Se suele emplear como tratamiento previo al temple y al revenido.

Además de los procedimientos anteriores, existen otras maneras de modificar las propiedades mecánicas del acero utilizando tratamientos termo-químicos, estos métodos son aplicables en aceros de bajo porcentaje de carbono (menos del 0,30 %). En el caso de los tratamientos termoquímicos, no solo se producen cambios en la estructura del acero, sino también en su composición química, añadiendo diferentes productos químicos durante el proceso del tratamiento. Estos tratamientos tienen efecto solo superficial en las piezas tratadas y consiguen aumentar la dureza superficial de los

componentes, dejando el núcleo más blando y flexible. Por lo general estos procedimientos requieren el uso de calentamiento y enfriamiento en atmósferas especiales.

Los principales tipos de tratamientos termoquímicos son los siguientes:

Cementación: aumenta la dureza superficial de una pieza de acero dulce, incrementando la concentración de carbono en su superficie. Se consigue teniendo en cuenta el medio o atmósfera que envuelve el metal durante el calentamiento y enfriamiento. El tratamiento logra aumentar el contenido de carbono de la zona periférica, obteniéndose después, por medio de temples y revenidos, una gran dureza superficial, resistencia al desgaste y buena tenacidad en el núcleo.

Nitruración: al igual que la cementación, aumenta la dureza superficial, aunque lo hace en mayor medida, incorporando nitrógeno en la composición de la superficie de la pieza. Se logra calentando el acero a temperaturas comprendidas entre 400 y 525 °C, dentro de una corriente de gas amoníaco más nitrógeno.

Cianuración: endurecimiento superficial de pequeñas piezas de acero. Se utilizan baños con cianuro, carbonato y cianato sódico. Se aplican temperaturas entre 760 y 950 °C.

1.5. El Temple

Es un proceso de calentamiento seguido de un enfriamiento, generalmente rápido con una velocidad mínima llamada "crítica".

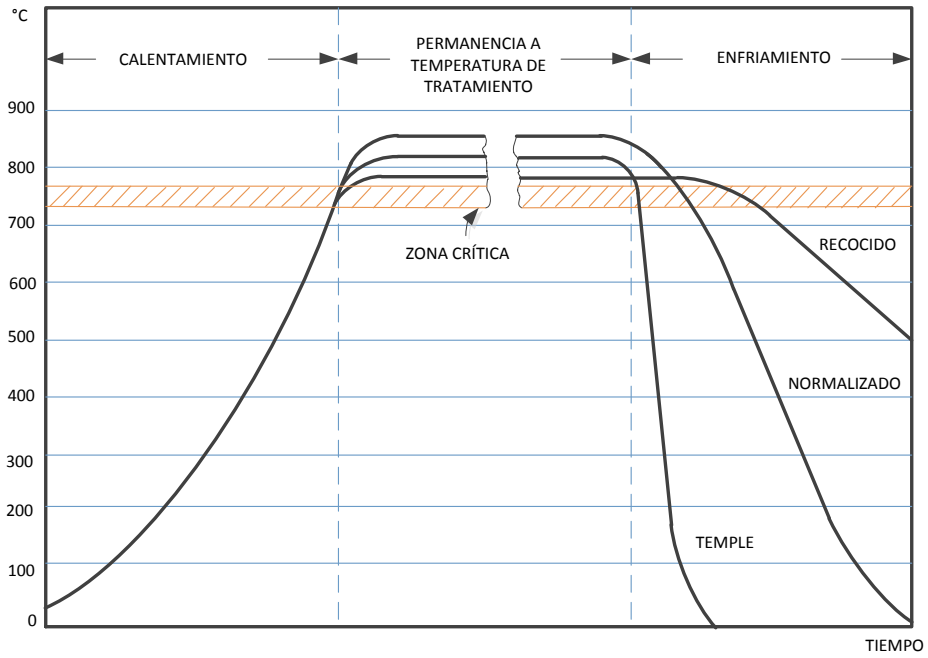

Figura 1. Procesos de Tratamiento Térmico

Como se puede apreciar en la figura 1, el proceso de temple, al igual que el de recocido y el de normalizado del acero, requiere de un calentamiento del material a una temperatura ligeramente superior a la temperatura crítica, seguido por un periodo de enfriamiento, que en el caso del temple debe realizarse a una gran velocidad.

El fin que se pretende conseguir con el proceso de temple es aumentar la dureza y resistencia mecánica, transformando toda la masa del material tratado en austenita con el calentamiento y después, por medio de un enfriamiento rápido, la austenita se convierte en martensita, que es el constituyente típico de los aceros templados.

El factor que caracteriza a la fase de enfriamiento es la velocidad del mismo, que debe ser siempre superior a la denominada velocidad crítica para obtener martensita.

La velocidad crítica de los aceros al carbono es muy elevada. Los elementos de aleación disminuyen en general la velocidad crítica de temple y en algunos tipos de alta aleaciones, es posible realizar el temple utilizando enfriamiento al aire. A estos aceros se les denomina "auto-templantes".

Los factores que influyen en la práctica del temple son:

- El tamaño de la pieza: cuanto más espesor tenga la pieza más hay que aumentar la duración del ciclo de calentamiento y de enfriamiento.
- La composición química del acero: en general los elementos de aleación facilitan el temple.
- El tamaño del grano: influye principalmente en la velocidad crítica del temple; tiene mayor templabilidad el acero de grano grueso.
- El medio de enfriamiento: el más adecuado para templar un acero es aquel que consiga una velocidad de temple ligeramente superior a la crítica. Los medios más utilizados son: aire, aceite, agua, baño de Plomo, baño de Mercurio, baño de sales fundidas y polímeros hidrosolubles.

1.5.1. Temperatura adecuada para el temple

En el tratamiento térmico de temple se debe alcanzar una temperatura ligeramente más elevada que la temperatura critica superior del material; al realizarlo se consigue que todo el acero que forma la pieza pase al estado austenítico. En general, el temple se realiza a una temperatura entre 40 y 60 °C por encima de la temperatura crítica.

En la tabla 1, a continuación, se muestran las temperaturas recomendables para el temple de los aceros al carbono:

Composición % de C	Temperatura en °C	
0,1	925°	
0,2	900°	
0,3	870°	Austenización
0,4	840°	Completa
0,5	830°	
0,6	810°	
0,7	780°	
0,8	770°	
0,9	770°	Austenización
1	760°	Incompleta
1,2	760°	
1,4	760°	

Tabla 1. Temperatura recomendada para el temple de aceros al carbono

1.5.2. Duración del calentamiento (permanencia a temperatura)

Para conseguir que toda la masa del acero se encuentre formada por cristales de austenita, es necesario que el acero permanezca a la temperatura de tratamiento un cierto tiempo, este tiempo debe ser suficientemente largo para que la estructura del material se torne completamente homogénea.

La duración del calentamiento para el temple depende de la masa de la pieza a templar, de la temperatura, de la velocidad de calentamiento, de la clase de acero y del estado inicial y final del material.

El tiempo de mantenimiento del acero a temperatura de tratamiento comienza cuando toda la pieza, incluyendo las zonas internas, ha alcanzado esa temperatura; en la figura 2

podemos observar las duraciones totales de calentamiento para piezas de acero de distintos tamaños.

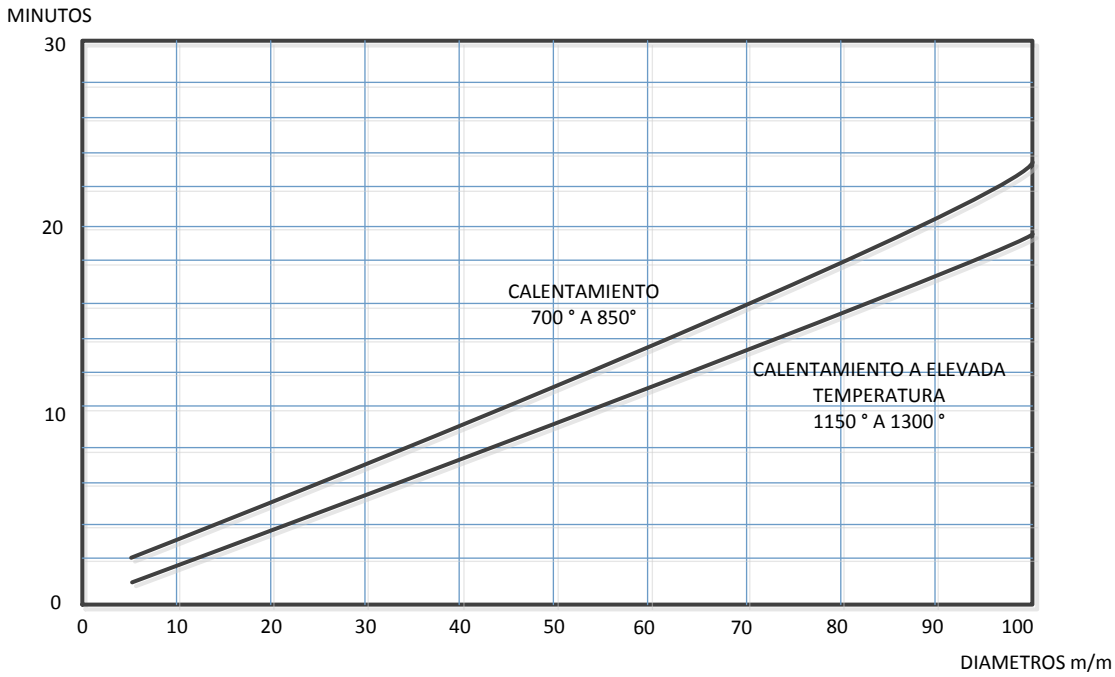

Figura 2. Duración total de calentamiento vs diámetro de la pieza

La permanencia del material a temperatura de tratamiento puede reducirse considerablemente al aumentar la temperatura muy por encima de la temperatura crítica pero esta práctica no se recomienda, pues si bien se consigue una estructura austenítica homogénea, los cristales que la forman son grandes y por tanto, el material resultante se vuelve muy frágil. A continuación en la figura 3 observamos la comparación de la estructura cristalina de un acero tratado a temperatura de austenización (derecha) y la de uno tratado muy por encima de esa temperatura (izquierda).

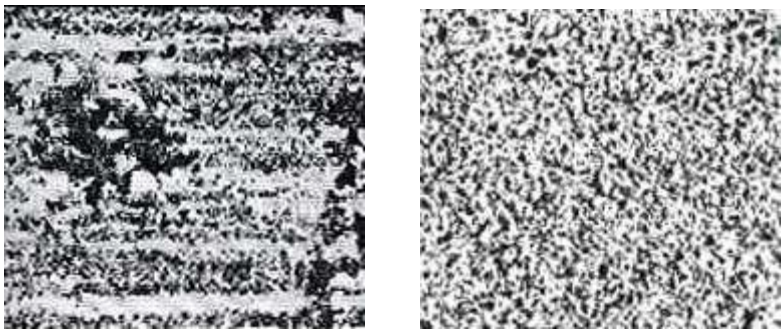

Figura 3. Diferencias de estructuras cristalinas

1.5.3. Enfriamiento

Teóricamente en el temple de los aceros, toda la masa debe encontrarse en estado austenítico en el momento de comenzar el enfriamiento. Si entonces se enfría el acero con rapidez, todo el material queda con gran dureza y la transformación de la austenita ocurre generalmente por debajo de 350 °C.

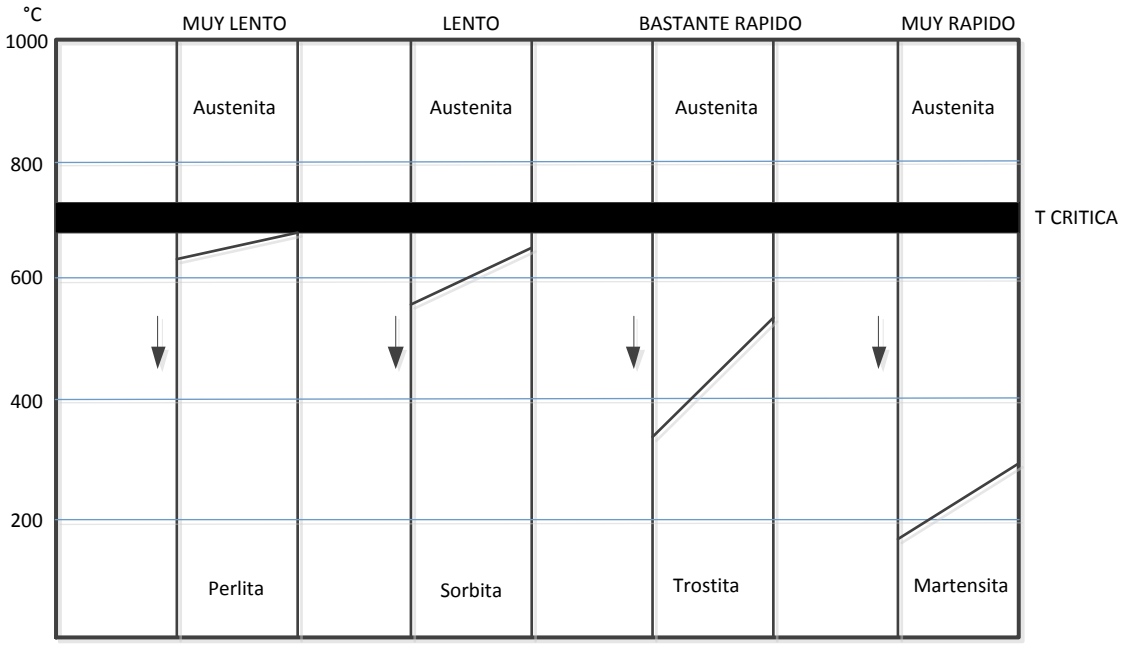

Figura 4. Comparación de velocidades de enfriamiento

Para comprender mejor el fenómeno del temple, se puede ensayar un acero de 0.90% de carbono enfriándolo a velocidades variables y observando luego lo que sucede, el resultado de tal experimento puede observarse en la figura 4.

Si dejamos enfriar el acero muy lentamente desde una temperatura superior a la crítica, la zona de transformación de la austenita en otros constituyentes, aparece a una temperatura inferior, pero próxima a la teórica, y el acero queda muy blando.

Si incrementamos gradualmente la velocidad de enfriamiento, el punto que señala la transformación de la austenita aparece cada vez a temperatura más baja. Cuando la temperatura es muy pequeña aparece perlita gruesa, luego perlita laminar fina, y cuando la velocidad de enfriamiento es mayor, aparece un nuevo constituyente obscuro y difuso, denominado sorbita; al continuar aumentando la velocidad, aparece otro también duro, más oscuro, formando rosetas de aspecto nodular, llamado troostita.

También se observa que la dureza obtenida ha ido aumentando paralelamente con los cambios de estructura. Al principio, cuando aparecía perlita, la dureza no pasaba de 10 a 20 Rc, y al enfriarse más rápidamente y obtenerse troostita, se llega a 30 y 45 Rc.

Cuando por efecto del rápido enfriamiento, el punto de transformación aparece entre 0°C y 350°C, el grado de dureza conseguido aumenta al rango de 40 a 67 Rc, y se forma una nueva estructura microscópica llamada martensita.

La velocidad de enfriamiento a la que se consigue el fenómeno anterior se denomina velocidad crítica de temple, y es la velocidad que hay que rebasar para conseguir la estructura completamente martensítica y un temple teóricamente perfecto.

Las velocidades críticas de temple varían bastante de unos aceros a otros. Los aceros al carbono exigen las mayores velocidades, que son, aproximadamente, para 0.5% de carbono, de 350 °C/segundo; para el 0.8% de carbono 200 °C/segundo. En cambio los aceros especiales tienen velocidades críticas más pequeñas.

1.5.4. Influencia de diversos factores en el temple del acero

Si se calienta una pieza de acero a una temperatura más elevada que la crítica superior y luego se enfría más o menos rápidamente, la velocidad de enfriamiento de cada uno de sus puntos es la que regula el fenómeno de temple.

En las zonas de la pieza en que la velocidad es mayor que la velocidad crítica de temple, la pieza se templará correctamente, en las zonas en que esto no ocurra, el temple no se dará o será solamente parcial.

Los factores que intervienen en el proceso de temple del acero se pueden clasificar en dos grupos:

En el primer grupo encontramos los factores relacionados con la calidad del material y por tanto influyentes sobre la velocidad crítica de temple. Los más importantes de este grupo son la composición del acero y el tamaño del grano.

Al segundo grupo pertenecen los factores que determinan la velocidad de enfriamiento de los diferentes puntos de las piezas, siendo los más importantes: la forma y dimensiones de la pieza, el estado superficial, la conductibilidad térmica del acero y el medio empleado para el enfriamiento. También tiene que tomarse en cuenta la temperatura utilizada para el temple pues si existen variaciones muy significativas en la misma, los resultados no serán los esperados.

A continuación se analizarán, de entre los factores anteriormente mencionados, los más relevantes para el proceso de temple de resortes para el que interesa dar una solución.

1.5.4.1. Influencia del tamaño de la pieza

El volumen y espesor de las piezas tiene gran importancia en el temple de los aceros. Si se estudia el enfriamiento en agua de un cilindro que ha sido calentado a alta

temperatura, fácilmente se comprende que la capa exterior del acero, que está en contacto con el líquido, es la que se enfría primero y más rápidamente. La capa siguiente no se enfría tan rápidamente pues el calor no se transmite de forma directa hacia el líquido sino que debe primero atravesar la capa superficial del acero, y esta capa, tiene una conductibilidad térmica bastante limitada. Una tercera capa del acero, situada más hacia el centro, se enfría todavía más lentamente, pues cuanto más al interior se encuentra, la transmisión de calor se hace cada vez con mayor dificultad.

Fácilmente también, se puede determinar que las velocidades de enfriamiento en el interior de los perfiles delgados, serán mucho mayores que en los gruesos, y que las velocidades en la superficie y en el interior de los redondos de acero de diversos diámetros, variarán mucho de unos a otros.

La influencia de la masa en la velocidad de enfriamiento se puede ver en las tablas 2 y 3, en las que se muestran las velocidades de enfriamiento a 704 °C, que se consiguen aproximadamente en diversos puntos de los redondos de acero de varios diámetros, templados en agua o en aceite ligeramente agitadas.

Enfriamiento en Agua Ligeramente Agitada

Diámetro en milímetros	Distancia a la periferia en milímetros						
	0	10	20	30	40	50	60
200	18	10	6	5	4	3	2,8
150	48	22	12	8	5	4	3
100	120	30	15	9	6	5	
50	240	55	28				
25	361	115					
Velocidad de Enfriamiento en grados por segundo							

Tabla 2. Velocidades de Enfriamiento en Agua

Enfriamiento en Aceite Ligeramente Agitado

Diámetros en milímetros	Distancia a la periferia en milímetros						
	0	10	20	30	40	50	60
200	2,3	2,2	2,1	2	1,9	1,8	1,7
150	3,6	3,3	3,1	2,9	2,6	2,4	2,2
100	8,2	7,6	5	4,6	3,7	2,9	
50	45	20	12				
25	125	50					
Velocidad de Enfriamiento en grados por segundo							

Tabla 3. Velocidades de Enfriamiento en Aceite

En la tabla 2 se señalan las velocidades de enfriamiento en diversos puntos de la sección de un redondo de 100mm templado en agua ligeramente agitada. Observando todas estas cifras se comprende claramente porqué en algunos casos las capas superficiales de una pieza se endurecen perfectamente y, en cambio, otras zonas del interior, por enfriarse a velocidades menores, no templan.

1.5.4.2. Influencia del medio de enfriamiento

Con el enfriamiento en agua salada muy agitada se consiguen las mayores velocidades, y enfriando las piezas dentro del horno, se obtienen las menores.

Con enfriamiento en aceite, al aire, en sales, etc. Se consiguen velocidades intermedias, pudiendo elegirse entre todos ellos el medio que mejor cumpla las condiciones de enfriamiento deseadas en cada caso.

En la tabla 4 se dan las velocidades de enfriamiento que se consiguen en el centro de los redondos de 25, 50 y 75 mm enfriados en distintos medios.

Enfriamiento	Diámetros		
	25 mm	50 mm	75 mm
Agua Agitada	56	15	7
Aceite Agitado	27	10	5
Corriente de aire	1,8	0,9	0,6
Aire tranquilo	0,85	0,4	0,3
Velocidad en grados por segundo			

Tabla 4. Medios de enfriamiento para el proceso del temple

También la tabla 5 da una idea de los diversos medios que se emplean para el temple de los aceros. En esta tabla, en el intervalo de 720° a 550°C y en la zona de temperaturas próxima a 200 °C se ha tomado como unidad de velocidad de enfriamiento a la correspondiente al agua a 18°C.

Medio de Enfriamiento	Velocidades Relativas de Enfriamiento	
	720 - 550°	200°
Solución acuosa con 10% ClLi	2,07	1,04
Solución acuosa con 10% NaOH	2,06	1,36
Solución acuosa con 10% ClNa	1,96	0,98
Solución acuosa con 10% CO_3Na_2	1,38	1,09
Solución acuosa con 10% SO_4H_2	1,22	1,49
Agua a 0°	1,06	1,02
Agua a 18°	1	1
Mercurio	0,78	1,09
Agua a 25°	0,72	1,11
Aceites	0,21 - 0,15	0,05 - 0,015
Agua con jabón	0,07	1,16
Agua a 75°	0,047	1,01
Agua a 100°	0,044	0,71
Aire	0,028	0,007
Vacío	0,011	0,004

Tabla 5. Medios de Enfriamiento vs Velocidades Relativas de Enfriamiento

Conviene resaltar que en los tratamientos térmicos la velocidad de enfriamiento varía bastante de unos momentos a otros y, por tanto, siempre que se cite una velocidad, debe indicarse a qué momento corresponde.

Las cualidades que más influyen en el poder templante de los líquidos son: su temperatura de ebullición, su conductibilidad térmica, su viscosidad, su calor específico y su calor de vaporización.

De manera experimental se ha llegado a determinar que, para evitar la formación de estructuras blandas, se requiere que la temperatura del líquido que se utilice para el enfriamiento no debe superar los 30°C. Además, también se sabe que las superficies blandas obtenidas son mínimas para soluciones de agua con concentraciones del 9% de cloruro sódico (sal común) y del 3% al 15% de hidróxido sódico (sosa cáustica).

1.5.5. Selección del medio de enfriamiento

Para obtener en el temple de los aceros el mejor resultado, conviene utilizar el medio de enfriamiento menos enérgico que sea capaz de comunicar al acero una velocidad de enfriamiento superior a la crítica. De esta forma se consigue una estructura completamente martensítica, la máxima dureza compatible con su composición y se evitan en lo posible grietas y deformaciones.

En los enfriamientos rápidos siempre existe el peligro de que se creen tensiones, debido al desigual enfriamiento de las piezas.

Al momento de seleccionar el medio de enfriamiento, dado que en la actualidad existe una enorme variedad de aceros disponibles, surge la duda sobre el medio de enfriamiento más conveniente y es por esto que siempre hay que guiarse por las recomendaciones de las acererías que fabricaron el acero a tratar y por el análisis y dimensiones de las piezas.

En general, se templan en agua todos los aceros al carbono en piezas de más de 5 o 10mm de espesor y también los aceros de poca aleación en espesores superiores a 25mm. Debe utilizarse agua a 15 o 20°C, no debiendo sobrepasar la temperatura de 30°C.

En aceite se pueden templar los perfiles inferiores a 5 o 10mm aproximadamente en los aceros antes citados y todos los de alta aleación. Al aire, por fin, se templan los aceros de muy alta aleación.

Aunque los fabricantes siempre señalan en sus catálogos el medio de enfriamiento que debe emplearse para cada acero, conviene recordar que muchas veces hay excepciones a las reglas generales que suelen dar. Así por ejemplo, aunque un acero al carbono al 1.10% es típico para el temple en agua, cuando hay que templar una pieza de menos de 3mm de espesor fabricada con este acero, conviene enfriarla en aceite, porque se alcanzará la dureza deseada y el peligro de que aparezcan grietas es menor que templado en agua.

1.5.5.1. Medios de enfriamiento más utilizados

Agua: Debe evitarse que se caliente durante el temple. Conviene que su temperatura oscile entre 15° y 20°C, pues si la temperatura es superior a 30°C es posible que aparezcan zonas blandas en el material templado.

Aceite: Se suelen utilizar aceites animales, vegetales y minerales. Los aceites animales y vegetales, con el uso continuo a temperaturas entre 50°C y 125°C se descomponen, espesan y se vuelven gomosos dando temples bastante irregulares. Además suelen resultar caros y de olor desagradable. Los mejores aceites para el temple son aceites minerales obtenidos de la destilación fraccionada del petróleo. El aceite para temple debe tener ciertas características especiales:

Viscosidad: A temperatura ambiente debe ser entre 5° y 9° Engler y a 50°C son de 2° a 4° Engler. El aceite aumenta su viscosidad con el tiempo por lo que se debe reemplazar regularmente.

Volatilidad: No debe ser demasiado elevada porque se pierde líquido con el uso y se espesa el baño.

Temperatura de inflamación y combustión: Deben ser lo más elevadas posibles para evitar humo excesivo y el riesgo de producir fuego en el baño. En los aceites corrientes la temperatura de inflamación suele oscilar entre 180°C y 275 °C, y la de combustión entre 250°C y 325°C, considerándose las temperaturas de 215°C y 275°C como satisfactorias.

Gran resistencia a la oxidación.

Plomo: Desde hace bastantes años se emplea este metal fundido para el temple. Las aplicaciones más comunes son el temple de herramientas de aceros especiales y el temple de muelles. En estos casos se introduce el acero caliente en plomo fundido y allí se enfriará hasta la temperatura que tenga el baño que suele ser entre 350°C y 600°C.

Mercurio: Para el temple de piezas muy delicadas como instrumentos de cirugía o similares, o para piezas de gran dureza, se emplea algunas veces el mercurio, pero su elevado peso específico y precio limitan sus aplicaciones, por lo que en la actualidad casi no se emplea.

1.6. Los resortes y sus características

Se conoce como muelle o resorte a un operador elástico capaz de almacenar energía y desprenderse de ella sin sufrir deformación permanente cuando cesan las fuerzas o la tensión a las que es sometido. Son fabricados con materiales muy diversos, tales como acero al carbono, acero inoxidable, acero al cromo-silicio, cromo-vanadio, bronces, plástico, entre otros, que presentan propiedades elásticas y con una gran diversidad de formas y dimensiones.

Se emplean en una gran cantidad de aplicaciones, desde cables de conexión hasta disquetes, productos de uso cotidiano, herramientas especiales o suspensiones de vehículos. Su propósito, con frecuencia, se adapta a las situaciones en las que se

requiere aplicar una fuerza y que esta sea retornada en forma de energía. Siempre están diseñados para ofrecer resistencia o amortiguar las solicitaciones externas.

1.6.1. Tipos de resortes

De acuerdo a las fuerzas o tensiones que puedan soportar, se distinguen tres tipos principales de resortes:

Resorte de torsión: Son los resortes sometidos a fuerzas de torsión o que ejercen su fuerza en un arco circular.

Resortes de tracción: Estos resortes soportan exclusivamente fuerzas de tracción y se caracterizan por tener un gancho en cada uno de sus extremos, de diferentes estilos: inglés, alemán, catalán, giratorio, abierto, cerrado o de dobles espira. Estos ganchos permiten montar los resortes de tracción en todas las posiciones imaginables.

Resortes de compresión: Estos resortes están especialmente diseñados para soportar fuerzas de compresión. Pueden ser cilíndricos, cónicos, bicónicos, de paso fijo o cambiante.

1.6.2. Física del resorte

La manera más sencilla de analizar un resorte físicamente es mediante su modelo ideal global y bajo la suposición de que éste obedece la Ley de Hooke. Se establece así la ecuación del resorte, donde se relaciona la fuerza $\boldsymbol{F}$ ejercida sobre el mismo con el alargamiento/contracción o elongación $\boldsymbol{x}$ producida, del siguiente modo:

$$F = -kx, \quad \text{siendo} \quad k = \frac{AE}{L}$$

Donde $\boldsymbol{k}$ es la constante elástica del resorte, $\boldsymbol{x}$ la elongación (alargamiento producido), A la sección del cilindro imaginario que envuelve al muelle y $\boldsymbol{E}$ el módulo de elasticidad del muelle (no confundir con el módulo de elasticidad del material).

La energía de deformación o energía potencial elástica $\boldsymbol{Uk}$ asociada al estiramiento o acortamiento del muelle viene dada por la integración de trabajo realizado en cada cambio infinitesimal $\boldsymbol{dx}$ de su longitud:

$$U_k = \int_0^x F(x)\ dx = \int_0^x k(x)\, x\ dx$$

Si la rigidez del muelle es independiente de su deformación, entonces:

$$U_k = \int_0^x kx\ dx = \frac{1}{2}kx^2$$

1.7. Control ON - OFF

Debido a la naturaleza del proceso que se desea controlar, se ha seleccionado el control on-off como la solución más idónea, es por ello que se detallará el principio de funcionamiento de este tipo de control.

También conocida como control todo o nada, es la regulación más simple y económica, se utiliza en aplicaciones que puedan admitir una oscilación continua entre dos límites, pero sería necesario que la evolución del proceso sea lenta. Debido a que la temperatura se cataloga como un sistema lento, se puede admitir este tipo de control como apto para la aplicación. Algunos controladores incorporan esta regulación básica y en ocasiones se combinan con otro tipo de controladores utilizándolos cuando el error es grande y cambiando de forma automática a otro controlador cuando el error se aproxima a cero.

La estrategia utilizada en este tipo de control se fundamenta en la idea de activar la señal de control cuando la variable del proceso se encuentra por debajo del set-point, y desactivarla cuando la variable del proceso está por encima del set-point.

Para evitar un número excesivo de conmutaciones de los actuadores, que podría resultar perjudicial para su tiempo de vida útil, se incluye normalmente en este tipo de controlador una ventana de histéresis. La histéresis no es más que una diferencia en los límites del set point abriendo una ventana para bajar la frecuencia de oscilación del sistema. En la figura 5 podemos observar el funcionamiento de la histéresis en un controlador ON-OFF.

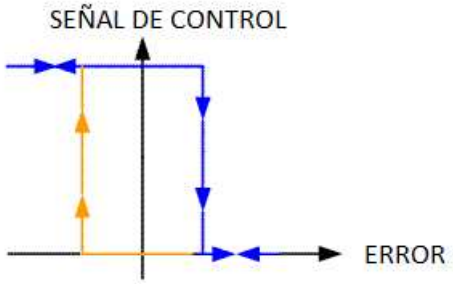

Figura 5. Histéresis en un controlador ON-OFF

Como podemos apreciar en la figura anterior, la ventana de histéresis permite que el controlador active y desactive la señal de control para valores diferentes en la señal de error (error = setpoint - variable medida).

En la figura 6 se muestra el diagrama de bloques de un control clásico on-off con histéresis.

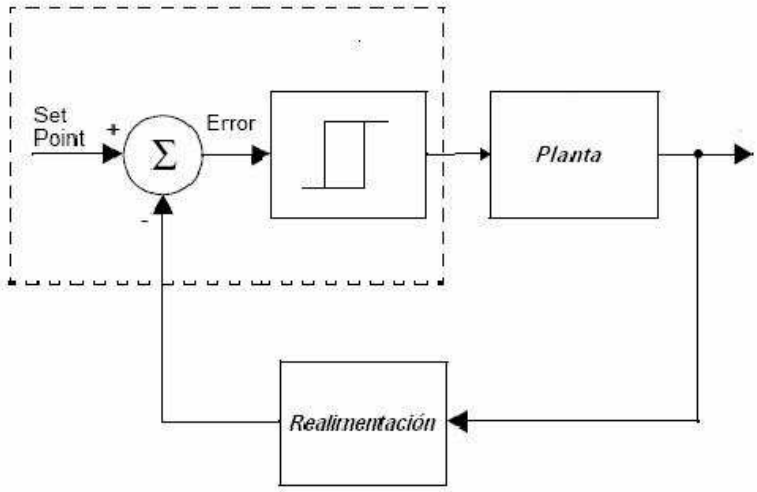

Figura 6. Control ON-OFF con histéresis

Cabe recalcar que este tipo de control es el más utilizado en el ámbito industrial debido a que se trata de una solución sencilla, económica y muy estable, y para la mayoría de los procesos, su desempeño es suficiente.

Para facilitar la comprensión de esta estrategia de control se presentara un ejemplo:

En el caso de un horno eléctrico, la temperatura aumenta al activar las resistencias calefactoras mediante un contactor, gobernado a su vez por un relé dentro del controlador.

El modo de control ON-OFF consiste en activar el mando de calentamiento cuando la temperatura está por debajo de la temperatura deseada (setpoint) y luego desactivarlo cuando la temperatura está por arriba.

Inevitablemente debido a la inercia térmica del horno la temperatura estará fluctuando continuamente alrededor del setpoint.

La inercia térmica es consecuencia del retardo en la propagación del calor en el interior del horno desde la resistencia calentadora hasta el sensor de temperatura.

Supongamos que se requiere fijar la temperatura del horno en 50°C, es decir, setpoint = 50°C. Un control ON-OFF sin histéresis activará la resistencia calefactora siempre que la temperatura se encuentre por debajo de 50°C y la desactivará cuando la temperatura supere los 50°C, esto ocasionará que el contactor que energiza la resistencia calefactora se mantenga conmutando muy rápidamente lo que terminará dañándolo en poco tiempo.

Si incluimos en el controlador una ventana de histéresis de 5°C, entonces el controlador activará la resistencia siempre que la temperatura sea inferior a 45°C, y la desactivará siempre que la misma supere los 55°C. De esta manera se disminuye la frecuencia de conmutaciones del contactor que energiza la resistencia calefactora, y se mejora su tiempo de vida útil sustancialmente.

1.8. Principio de Funcionamiento del sensor

A medida de que la temperatura de un cuerpo aumenta se vuelve más difícil medirla, ya sea por medios convencionales como los termómetros de mercurio o con sistemas

eléctricos como las resistencias detectores de temperatura (RTD's), termistores o termopares. Los problemas asociados con la medición de temperatura elevada por métodos convencionales, motivó los primeros descubrimientos sobre pirómetros. Los pirómetros son dispositivos que miden la temperatura a través de la energía irradiada por el cuerpo.

La teoría de los pirómetros se basa en el hecho de que todos los cuerpos arriba del cero absoluto de temperatura irradian energía, de lo cual parten para medir la temperatura de los cuerpos. La radiación es un modo de propagación de la energía a través del vacío, de forma análoga a la luz. Cuando hablamos de la radiación de los cuerpos nos referimos a la emisión continua de energía desde la superficie de dichos cuerpos, esta energía es radiante y es transportada por las ondas electromagnéticas que viajan en el vacío. La radiación electromagnética se extiende a través un ancho rango de frecuencias, como se ilustra en la figura 12:

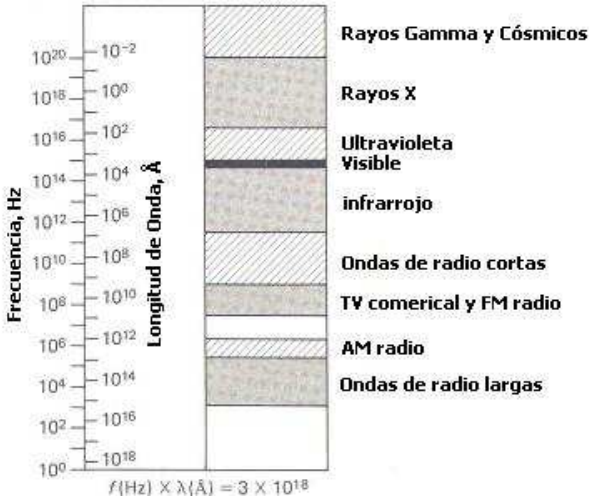

Figura 7. Espectro electromagnético

Los cuerpos no solo irradian o emiten energía, sino que también reciben y absorben de otras fuentes. Sobre la superficie de un cuerpo incide constantemente energía radiante, tanto desde el interior como desde el exterior, la que incide desde el exterior procede de los objetos que rodean al cuerpo. Cuando la energía radiante incide sobre la superficie una parte se refleja y la otra parte se transmite. Si la superficie es como la de un espejo, la mayor parte de la energía incidente se refleja, el resto atraviesa la superficie del

cuerpo y es absorbido por sus átomos o moléculas. La proporción de energía que incide es igual a la suma de la reflejada y la absorbida. Asimismo, la misma proporción de la energía radiante que incide desde el interior se refleja hacia dentro, y se transmite cierta proporción que se propaga hacia fuera, lo que se denomina energía radiante emitida por la superficie. Dependiendo de las características de la superficie del cuerpo, es la cantidad de energía que se refleja y absorbe, por ejemplo en las figuras 13 y 14 se muestra una superficie que refleja la mayor parte de la energía que incide y por lo tanto absorbe una mínima cantidad de ella, y otra que refleja una pequeña cantidad de energía incidente pero absorbe en su mayoría la cantidad restante.

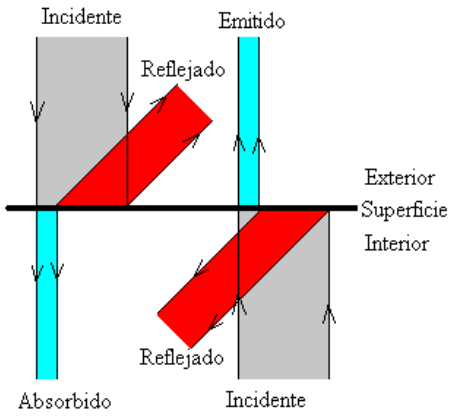

Figura 8. Superficie altamente reflectiva

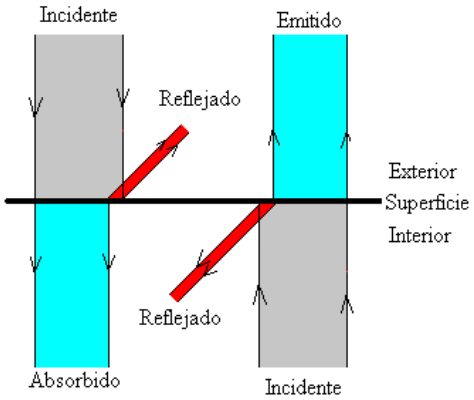

Figura 9. Superficie poco reflectiva

Comparando ambas figuras, vemos que una superficie poco reflectiva es un buen emisor, y una muy reflectiva es un mal emisor.

1.8.1. Tipos de pirómetros

Existen 3 tipos de pirómetros: los de radiación, los infrarrojos y los ópticos. El pirómetro infrarrojo, que ha sido seleccionado para la aplicación, maneja un principio similar que al de radiación total, solo que las mediciones se restringen al segmento infrarrojo. Este sensor no necesita contacto directo con el objeto a analizar.

Los pirómetros de radiación se emplean para medir temperaturas mayores de 150°C hasta un poco más de 1600°C captando toda o gran parte de la radiación emitida por el cuerpo a analizar. Este tipo de pirómetros se fundamenta en la ley de Stefan-Boltzman, que dice que la intensidad de energía radiante emitida por la superficie de un cuerpo negro aumenta proporcionalmente a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo, es decir, W = KT4, donde:

W (potencia emitida)= Flujo radiante por unidad de área.

K =Constante de Stefan - Boltzman (cuyo valor es 5.67 10-8 W / m2 K4).

T =Temperatura en Kelvin

La figura 15 muestra, de forma simplificada, la forma de operación de un pirómetro de radiación. La parte esencial del dispositivo consiste en una especie de lente de pirex sílice o fluoruro de calcio que concentra la radiación del objeto caliente en una termopila formada por varios termopares de pequeñas dimensiones y montadas en serie.

La radiación está enfocada incidiendo directamente en las uniones calientes de los termopares. Su reducida masa los hace muy sensibles a pequeñas variaciones de energía radiante y además muy resistente a vibraciones o choques. La parte de los termopares expuesta a la radiación está ennegrecida para comportarse como un cuerpo negro, aumentando así sus propiedades de absorción de energía y propiciando la fuerza electromotriz máxima.

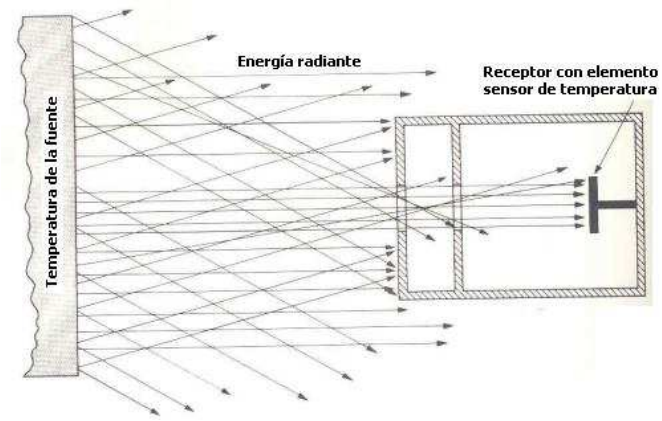

Figura 10. Forma de operación de un pirómetro de radiación

La f.e.m. que proporciona la termopila depende de la diferencia de temperaturas entre la unión caliente (radiación procedente del objeto enfocado) y la unión fría. Esta última coincide con la de la caja del pirómetro, es decir, con la temperatura del ambiente. La compensación de esta se lleva a cabo mediante una resistencia de níquel conectada en paralelo con los bornes de conexión del pirómetro y colocada en su interior de modo que su temperatura es siempre igual a la del cuerpo de éste. Al aumentar la temperatura ambiente aumenta el valor de la resistencia de la bobina de níquel, lo que compensa la pérdida de f.e.m. de la termopila que acompaña el calentamiento del cuerpo del instrumento. Esta compensación se utiliza en temperaturas ambientes mínimas a 20°C, a mayor temperatura se emplean dispositivos de refrigeración.

El medio de enfocar la radiación que le llega puede ser una lente o un espejo cóncavo. El espejo cóncavo es a veces preferido como medidor para enfocar por dos razones:

La imagen de la fuente se enfoca igualmente bien en el receptor para todas las longitudes de onda, puesto que el espejo no produce aberración cromática, en tanto que la lente puede dar una imagen neta para una sola longitud de onda.

Las lentes de vidrio o de sílice vítrea absorben completamente una parte considerable de la radiación de largas longitudes de onda. La radiación reflejada por el espejo difiere poco en longitud de onda media de la que en él incide.

CAPITULO II

ESTUDIO DEL PROCESO Y PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES

2.1. Introducción

Los resortes forman parte del complejo mecanismo de las armas de fuego y, entre otras cosas, 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 11. Resorte en el seguro del tambor del revólver

Figura 12. Resorte en el recuperador del martillo del revólver

En el proceso de temple de resortes, se requiere elevar la pieza metálica a una alta temperatura (propia de cada tipo de material y del grado de dureza y flexibilidad requeridos 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. Para la fase de calentamiento del proceso se utilizará un circuito de potencia que entregará a los bornes del resorte una corriente elevada, misma que incrementará la temperatura del acero.

2.2. Descripción del Proceso de Temple Artesanal

Para el planteamiento de la propuesta de mejora del proceso de temple de los resortes que forman parte del mecanismo de un arma de fuego, se ha tomado como punto de partida el análisis del proceso artesanal que se viene desarrollando en la empresa durante los años que se han dedicado a esta labor. Este procedimiento además de ser poco efectivo por la cantidad de resortes defectuosos que produce, es un proceso altamente riesgoso para el operador, debido a la posibilidad de ponerse en contacto con una corriente superior a los 15 amperios cuando se encuentra en medio del proceso lo que puede producir electrocución o al menos quemaduras graves por la alta temperatura en la que se encuentra el material.

Para realizar el proceso de temple artesanal se utilizan dos elementos improvisados que no son adecuados para este fin. El primero es un Variac de corriente alterna que entrega entre sus terminales un voltaje entre 0 y 115 V RMS, el voltaje utilizado para la aplicación es aproximadamente de 5V RMS, Los contactos eléctricos que se conectan al resorte son una base de acero templado completamente expuesta y una pinza metálica con un mango de goma. El medio de enfriamiento es un recipiente con agua. Los elementos descritos anteriormente se muestran en las figuras 7 y 8.

Figura 13. Variac y placa utilizados para el temple artesanal

Figura 14. Pinza y Tanque de enfriamiento para el temple artesanal

El proceso inicia regulando el variac a un voltaje aproximado a 5VAC (el voltaje exacto se determina con un ensayo de prueba y error para cada lote de resortes), luego, se sujeta al resorte que va a ser procesado justo en la última espira con la pinza metálica.

Para ajustar el voltaje del variac se realiza una prueba con el mismo resorte a tratar, acercándolo hacia la placa metálica (ánodo), si aparece un arco voltaico impidiendo el contacto del resorte con la placa, se bajara el voltaje hasta conseguir el voltaje "ideal". El voltaje seleccionado será aquel en el que no se genere un arco eléctrico, y el tiempo de calentamiento sea suficientemente largo como para observar el color del material mientras este se templa sin sobrepasar la temperatura justa.

Una vez regulado el voltaje del variac se mantiene circulando corriente por el resorte hasta que tome una coloración amarilla – café como se muestra en las figuras 9 y 10, cuando toda la superficie del resorte llegue a esta coloración se lo enfría inmediatamente sumergiendo el resorte en el tanque de agua corriente a temperatura ambiente como se muestras en la figura 8.

Cabe recalcar que la temperatura del agua en este tanque no se monitorea y si no se cambia constantemente es una causante de la variación de resultados cuando se templan varios resortes en serie.

Figura 15. Proceso de temple artesanal

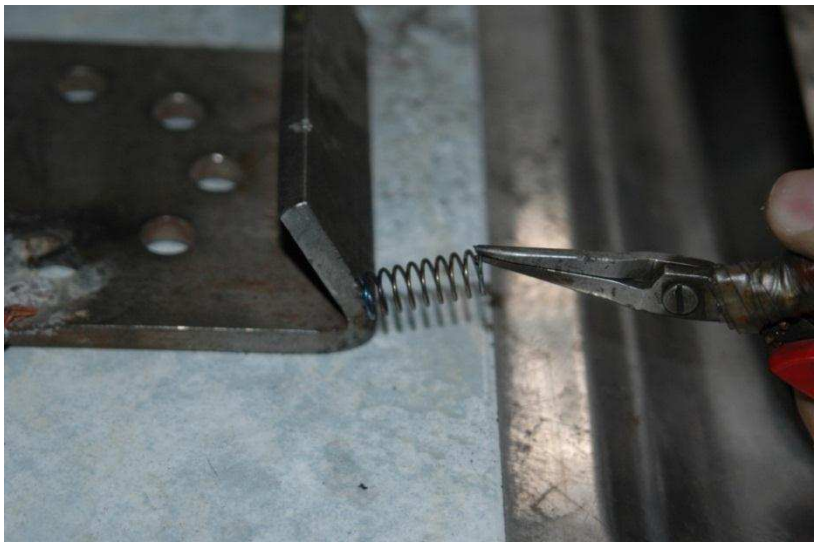

Figura 16. Cambio de color del resorte templado

2.3. Planteamiento y Selección de Alternativas

Para realizar el proceso de temple en una pieza de acero, cualquiera que esta sea, existen varios métodos que difieren únicamente en la forma de calentamiento de las piezas, ya que el método de enfriamiento es exactamente el mismo para todos. Estos métodos se describirán a continuación detallando el procedimiento y los recursos que se necesiten para el desarrollo del mismo, además de exponer las ventajas y desventajas de cada

método. Para posteriormente escoger la mejor alternativa a ser implementada en la máquina.

2.3.1. Calentamiento por Horno de Gas

Este proceso consiste en el calentamiento del resorte por exposición directa a la llama en quemadores de gas, cuya cantidad de calor se controla por la cantidad de gas que se incinera en el compartimiento.

- Ventajas: Se puede calentar gran cantidad de resortes a la vez en un volumen relativamente pequeño, Se puede alcanzar temperaturas muy elevadas con pocos quemadores.
- Desventajas: Solución costosa, sistema de aislamiento térmico complejo, Sistema peligroso por la presencia de gas, no se garantiza la uniformidad del calentamiento en todas las piezas, sistema de control complejo y costoso.

2.3.2. Calentamiento por Horno Eléctrico

Proceso similar al calentamiento por horno de gas con la diferencia que la fuente de calor son resistencias calefactoras de alta potencia. Se requiere de un sistema de convección interna (recirculación de aire) para lograr uniformidad de temperatura en el interior del horno.

- Ventajas: Se puede calentar gran cantidad de resortes a la vez en un volumen relativamente pequeño, Solución de control económica y sencilla de diseñar, sistema mucho más limpio que los quemadores a gas.

- Desventajas: Consumo eléctrico excesivo, niquelinas consumibles, sistema de aislamiento térmico complejo y no se garantiza la uniformidad en el calentamiento en todas las superficies, implementación costosa.

2.3.3. Calentamiento por Corrientes Inducidas de alta frecuencia

Este tipo de temple superficial requiere una bobina por la cual recorre una corriente eléctrica de alta frecuencia y envuelve a la pieza a calentar, el calor es originado por la corriente eléctrica inducida magnéticamente en las capas superficiales del material, y mientras mayor sea la frecuencia, mayor es la penetración del calor en el material.

- Ventajas: Bajo consumo energético, sistema limpio, mantenible y no sujeto a desgaste de actuadores, equipo pequeño y ligero, sistema de bajo costo (en cuanto a elementos).
- Desventajas: Equipo complejo y de diseño costoso, sistema de control y sistema de medición complejo, taza de producción baja, puede producir interferencias eléctricas en el sistema de control lo que complica aún más su diseño.

2.3.4. Calentamiento por corriente eléctrica

Consiste en hacer circular por el resorte una corriente eléctrica suficientemente alta 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, taza de producción baja, cantidad de corriente muy elevada para piezas de gran volumen, excesivo consumo de energía eléctrica.

Una vez analizadas las alternativas anteriormente expuestas se escogió el 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 solucionará utilizando un sensor pirométrico como se mencionó anteriormente. Este sistema es ideal para la aplicación debido a que no se requiere producción masiva de resortes.

2.4. Descripción de las 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.

2.4.1. 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 colocarán manualmente los resortes para el constante abastecimiento de materia prima que será entregada a las siguientes etapas del proceso.

Esta rueda de colocación manual será accionada por un motor eléctrico que girará la rueda en un solo sentido, una ranura a la vez, la rueda ranurada tendrá una cubierta cilíndrica con dos agujeros, uno que permite cargarla con resortes, y otro, en su parte inferior, que dejará caer los resortes uno a uno sobre un plano inclinado al final del cual se colocará un magneto. El sistema descrito anteriormente permitirá la entrega del resorte de una manera automática y controlada, a la siguiente etapa del proceso.

2.4.2. Etapa de Calentamiento

Es esta etapa se procederá a ajustar automáticamente el resorte entre dos bornes de bronce, colocados en una pinza servo-controlada que tomará 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 conseguirá 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 detendrá el paso de corriente por el resorte y abrirá los electrodos que lo sostienen para dejarlo caer a la siguiente etapa del proceso.

2.4.2.1. Estrategia de control

Este procedimiento se puede calificar como una estrategia de control ON/OFF simplificada, en la que se energiza el actuador con un nivel fijo de voltaje siempre que la temperatura medida (Variable del proceso) sea inferior a la deseada (Setpoint), y se desconecta siempre que la temperatura supere el setpoint. Se ha determinado experimentalmente que no es necesario mantener la temperatura del resorte durante un tiempo para uniformizarla a lo largo del material, pues el calentamiento por circulación de corriente asegura esta condición, por lo tanto, no es necesario utilizar histéresis y el control solamente se encuentra operativo durante el tiempo de subida.

El comportamiento del sistema de control se ilustra en la figura 11.

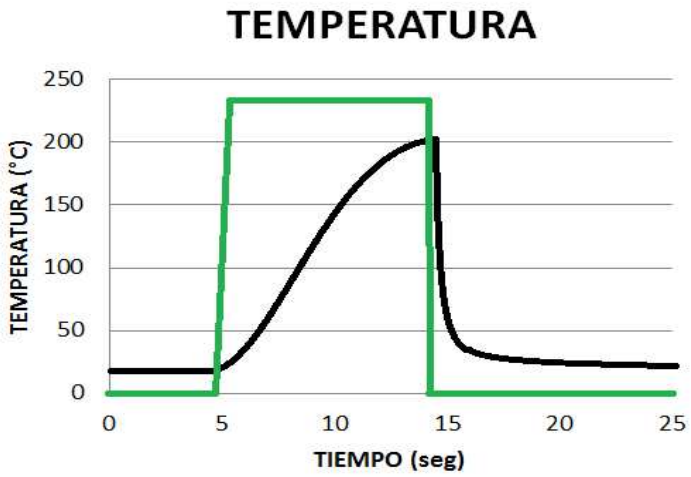

Figura 17. Respuesta del sistema de control

Como podemos observar en la figura anterior, la temperatura se representa por la curva en color negro, y la señal de control por la curva en color verde, al activarse la señal de control se comienza a elevar la temperatura, y una vez que se ha alcanzado el setpoint se suelta el resorte en el tanque de enfriamiento y por tanto su temperatura decrece violentamente.

2.4.2.2. Requerimientos del Sensor

La automatización del proceso de temple requerirá de la medición de la temperatura del material mientras el mismo se calienta, de modo que el resultado del temple sea uniforme para todos los ejemplares sin importar que existan ligeras variaciones en sus geometrías. Esta medición, sin embargo, tiene ciertas exigencias especiales que se listan a continuación:

El tiempo de respuesta del sensor utilizado debe ser muy corto: Esta condición se debe a dos factores, el primero es que el calentamiento por corriente eléctrica de resortes pequeños como los que se utilizan en armas de fuego es relativamente rápido (entre 1 y 10 segundos), y el segundo es que la máquina automática a diseñar pretende maximizar la productividad, por lo tanto, es deseable realizar el proceso en el menor tiempo posible sin comprometer los resultados.

El rango de temperatura medible por el sensor deberá estar entre 200 y 500 ºC (temperatura común de temple para alambre de acero para fabricación de resortes). De preferencia el sensor deberá tener un comportamiento lineal en el rango de temperaturas mencionado.

Los tipos de sensores de temperatura disponibles en el mercado, junto con su desempeño en los aspectos mencionados anteriormente se listan en la siguiente tabla:

Tabla comparativa de tipos de sensores de temperatura

Tipo de sensor	**Tiempo de respuesta**	**Rango de temperatura**	**Linealidad en el rango requerido**
Termocupla	Medio	Aceptable	Media
RTD	Lento	Aceptable	Alta
Termistor	Rápido	No aplica	No aplica
Sensor IC	Medio	No aplica	No aplica
Pirómetro	Rápido	Aceptable	Alta

Tabla 6. Comparación de tipos de sensores de temperatura

Como se puede observar en la tabla anterior, el mejor candidato para realizar la medición de la temperatura de los resortes (a pesar de su elevado costo) es el pirómetro, que utiliza la radiación infrarroja emitida por los objetos calientes como medida de su temperatura. Este sensor es ideal para la aplicación debido a su muy corto tiempo de respuesta (alrededor de 150 ms), su gran linealidad, su rango de temperatura y sobre todo al hecho de que se trata de un dispositivo de medición sin contacto, de modo que su instalación se vuelve sencilla y su desgaste es insignificante con un tiempo de vida superior a los 5 años de funcionamiento continuo.

La segunda parte del proceso, correspondiente al enfriamiento, se realizará dejando caer el resorte en un contenedor con agua a temperatura ambiente, en el instante en el que el material haya alcanzado la temperatura óptima de temple, de esta manera se garantizará que el enfriamiento es suficientemente rápido. Además del constante monitoreo de la temperatura del tanque para que en el caso de trabajo continuo no se altere los resultados por el incremento de temperatura del agua.

2.4.3. 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 templar es más que suficiente la utilización de agua a temperatura ambiente para el enfriamiento de estos elementos.

Posteriormente se retirará los resortes del tanque de enfriamiento de forma manual culminando el proceso de temple.

2.5. 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 analizará los resultados que se desean obtener realizando experimentos de las características físicas de los resortes para extraer los parámetros de comparación para los resortes que van a ser templados en serie en la máquina.

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

Como primer punto, se estudiará la constante de elasticidad que se obtiene del método de temple artesanal utilizado actualmente, para utilizarla como punto de referencia al momento de calibrar el sistema automático que se construirá.

Tomando en cuenta la Ley de Hooke que enuncia:

$$F = k.x$$

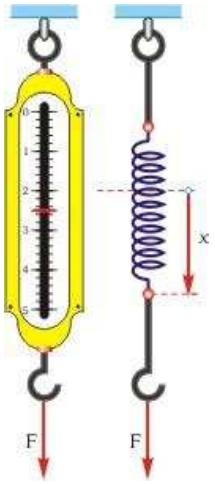

Figura 18. Ley de Hooke – parámetros de los resortes

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

Se realizarán 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 podrá determinar cuál es la constante de elasticidad ***k***, antes y después de proceso de temple, con estos datos podremos observar el grado de mejora que se obtiene actualmente y basarnos en esta información para contrastar resultados al momento de experimentar con los resortes templados de manera automática.

Para lograr determinar la constante de elasticidad de los resortes, se utilizará un dinamómetro acoplado a un sistema de medición de distancia cuyo punto de inicio se puede regular. Dicho dispositivo se puede observar en estado de reposo y con el resorte contraído en las figuras 12, 13 y 14.

Figura 19. Dinamómetro acoplado con un dispositivo de medición de distancia en mm

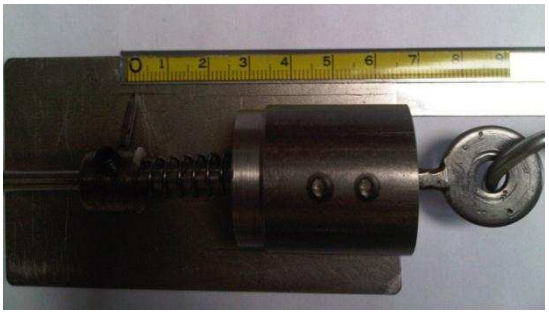

Figura 20. Inicio de medida con el resorte sin deformación

Figura 21. Toma de medida de fuerza con 15mm de deformación

En los siguientes cuadros se presentan los datos de los experimentos realizados a diferentes resortes antes y después de someterlos al proceso artesanal de temple, los datos de Fuerza que origina la deformación son tomados con un dinamómetro como se mostró en la figura 12.

Resortes sin Templar

N° Resorte	Deformación x (mm)	Fuerza F (N)	Cte. De Rigidez k (N/m)
1	15	19,6	1306,6
2	13	19,6	1507,6
3	14	19,6	1400
4	13	19,6	1507,6
5	13	19,6	1507,6
6	12	19,6	1633,3
7	13	19,6	1507,6
8	14	19,6	1400
9	12	19,6	1633,3
10	13	19,6	1507,6
11	14	19,6	1400
12	13	19,6	1507,6
13	14	19,6	1400
14	13	19,6	1507,6
15	13	19,6	1507,6
16	12	19,6	1633,3
17	13	19,6	1507,6
18	13	19,6	1507,6
19	12	19,6	1633,3
20	14	19,6	1400

Tabla 7. Parámetros de resortes sin templar

Resortes Templados

N° Resorte	Deformación x (mm)	Fuerza F (N)	Cte. De Rigidez k (N/m)
1	12	19,6	1633,3
2	11	19,6	1781,8
3	12	19,6	1633,3
4	11	19,6	1781,8
5	10	19,6	1960
6	10	19,6	1960
7	11	19,6	1781,8
8	12	19,6	1633,3
9	13	19,6	1507,6
10	11	19,6	1781,8
11	13	19,6	1507,6
12	11	19,6	1781,8
13	12	19,6	1633,3
14	13	19,6	1507,6
15	10	19,6	1960
16	11	19,6	1781,8
17	13	19,6	1507,6
18	12	19,6	1633,3
19	13	19,6	1507,6
20	11	19,6	1781,8

Tabla 8. Parámetros de resortes realizado el templado artesanal

Considerando los datos extraídos de experimento detallados en las tablas anteriores, se concluye que en promedio la constante de elasticidad de los resortes sin tratamiento térmico es de 1495,79 N/m, y de los resortes ya realizados el tratamiento térmico es de 1702,8 N/m. Esto muestra el mejoramiento en rendimiento de los resortes aproximadamente en un 13,84%, haciéndolos más fuertes a su compresión además de

alargar su vida útil en número de compresiones. Observando los datos se puede concluir que no existe uniformidad en los resultados del tratamiento térmico artesanal, viendo resortes que empeoraron sus características o mantuvieron la constante de elasticidad después del tratamiento. Calculando, la desviación estándar es de 155,05 N/m mediante la fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2}$$

Estos desperfectos son difíciles de detectar sin instrumentos de medición, y la realización de este experimento para cada lote de resortes templado resulta poco práctica. De una muestra de 20 resortes probados, 4 resortes fueron tratados equivocadamente y podrían producir un producto final (arma de fuego) de baja calidad.

Estos datos servirán de referencia para comparar con los resultados que se van a conseguir del temple automatizado. La temperatura a la que se deba elevar el material para conseguir un temple óptimo depende de la composición del material. El material a utilizar es acero de resorte de baja aleación de alto o medio contenido de carbono, como es el acero de la norma: ASTM A232, A228 o A230 para los cuales los fabricantes de este tipo de aceros especifican un rango de temperaturas de temple entre 200 y 400°C. La temperatura específica para la aplicación se determinara experimentalmente en la etapa de pruebas como la temperatura en la que se consiga la constante de elasticidad especificada por el diseñador de las armas.

2.5.1. Calculo de Variables del Proceso

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:

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

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

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:

$$Q = C_e m \Delta\theta \qquad (Transferencia\ de\ Calor)$$

Dónde:

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

m = Masa del resorte [Kg]

θ = Temperatura del resorte [K]

Igualando:

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

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:

$$\Delta\theta = 180°C = 180\ K$$

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

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

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

CAPITULO III

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

3.1. Diseño Mecánico

Para la descripción del diseño mecánico se dividirá a la maquina en subsistemas que facilitaran su mejor entendimiento y descripción. Estos subsistemas se muestran en la figura 15, a forma de un diagrama, donde se describirá las partes constitutivas y los mecanismos de funcionamiento, posteriormente se ampliara la descripción de cada parte donde se explicará el proceso de construcción y una reseña de materiales utilizados.

Los sistemas a implementar son:

- Subsistema de alimentación de resortes
- Subsistema de sujeción y calentamiento
- Subsistema de enfriamiento
- Estructura, Soportería y Cubiertas

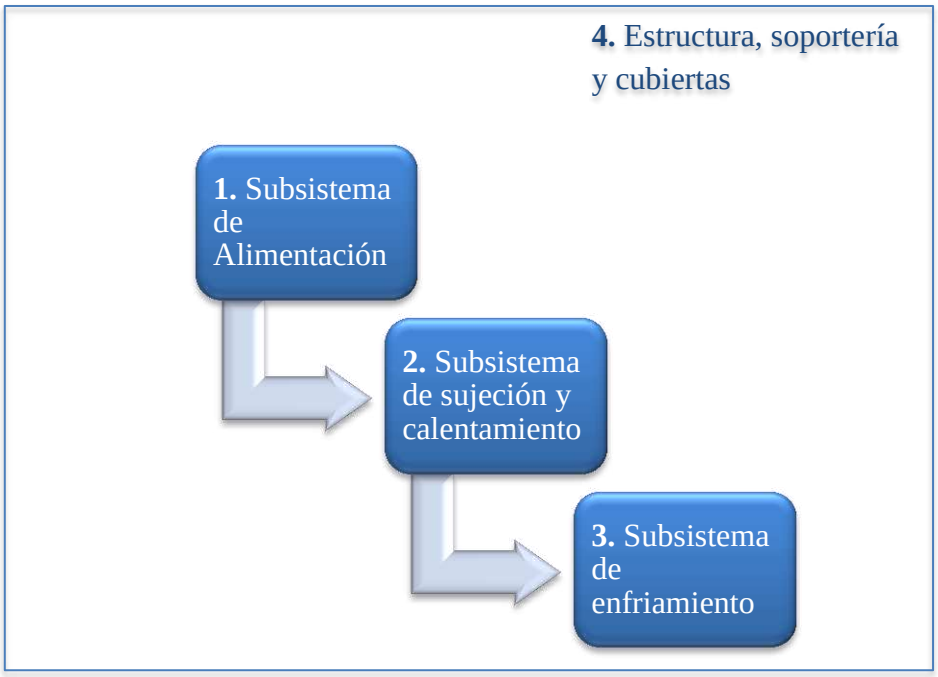

Figura 22. Subsistemas mecánicos de la máquina

Cabe recalcar que para cada sistema descrito se detalla su diseño y materiales utilizados, pero en el sistema de estructura y soportería se considerarán todos los soportes donde se fijaran los actuadores, sensores y elementos de interfaz con el operador de la máquina, intentando lograr un diseño atractivo, fácil de manipular y dar mantenimiento, además de ergonómico para el operador.

3.1.1. Sistema de Alimentación

El sistema está compuesto por una rueda ranurada de grylon negro, dispuesta de 18 compartimientos para resortes, una cubierta fabricada con tol negro de 0.9mm (ANEXO XXIV). Está cubierta posee dos ranuras, la primera está dispuesta en la parte superior de la rueda y permite la colocación de un máximo de dos resortes, y la otra en la parte inferior de la rueda para el abastecimiento de un resorte hacia la rampa que desemboca en las pinzas de calentamiento (ANEXO XXVII). La cubierta de la rueda se completa

con una tapa lateral de tol negro de 0.9mm que cubre los compartimientos de los resortes para que su alimentación sea únicamente por la ranura superior (ANEXO XXVI). La rueda posee un eje de acero pasante, de 13mm de diámetro (ANEXO VII), que esta acoplado a un motor de corriente continua de 5V con reducción mecánica para aumentar su torque y bajar su velocidad. Este sistema adicionalmente posee una rampa plástica con paredes laterales de aproximadamente 35mm de ancho, que permite el traslado de los resortes desde la ranura inferior de la rueda, hasta los bornes de la pinza de calentamiento, además posee un imán adherido a la parte final de la rampa que ubica los resortes en un mismo punto para ser recogidos por la pinza (ANEXO XV). Todo el sistema de alimentación posee un soporte de chapa metálica de acero para soportar tanto la rueda como la rampa de alimentación. Adicionalmente, se encuentran fijados a esta base los soportes del eje, el soporte y cubierta del motor (ANEXOS XIV, XVI, XX, XXII, XXVII, XXVIII). En el extremo del eje contrario al acople del motor se encuentra la rueda de posicionamiento de 58mm acoplada al mismo eje. Esta rueda posee el mismo número de perforaciones que la cantidad de compartimientos porta resortes presentes en la rueda ranurada, para facilitar el movimiento de la rueda una ranura a la vez.

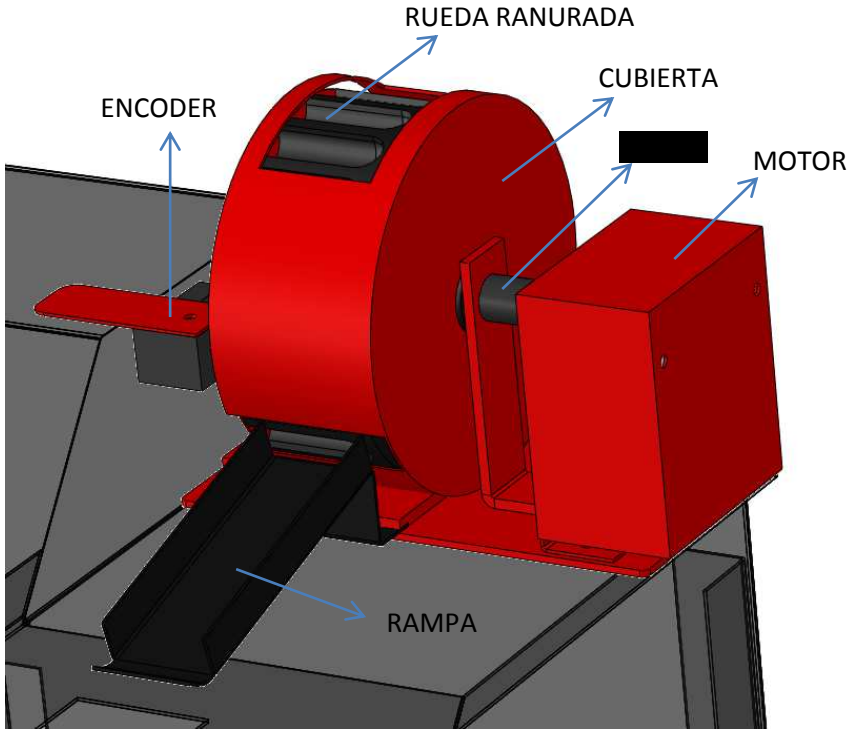

Figura 23. Sistema Mecánico de Alimentación

3.1.2. Sistema de sujeción y calentamiento

Este sistema tiene como tarea sujetar los resortes provenientes del subsistema de alimentación mediante una pinza servo-controlada, que admite varios ángulos de apertura para recoger los resortes y después soltarlos una vez que se haya cumplido el ciclo de calentamiento. Esta pinza posee en sus extremos los electrodos que son conductores de bronce de un diámetro de 7.20mm (ANEXO VIII) incrustados en dos porta electrodos de fibra aislante y que tolera una temperatura superior a los 500°C. Estos porta electrodos aíslan la corriente que fluye por el resorte el momento del calentamiento para que no sea posible una descarga por medio de la estructura metálica de toda la maquina (ANEXO XI). La pinza se encuentra fijada a un bloque de grylon negro con dos perforaciones a modo de bujes para que toda la pinza con su motor y mecanismo se traslade por los ejes dispuestos a lo largo del recorrido horizontal del "carro" que sujeta la pinza (ANEXO VI). Los ejes que sirven de guía para el traslado de la pinza están colocados en una base metálica de 7.5mm de espesor, que mantiene los ejes totalmente alineados para el fácil traslado del bloque de grylon (ANEXO IV). Dicha base también está compuesta del soporte para el motor acoplado a la cadena que traslada todo el mecanismo desde la rampa de alimentación hasta el canal que conduce al tanque de enfriamiento. El "carro" está conectado con la cadena mediante una palanca de platina metálica de 1mm de espesor, empernada a un eslabón de la cadena haciendo que el movimiento del motor se refleje en el traslado lineal de todo el mecanismo (ANEXO XII).

Una parte importante dentro de la mecánica del sistema, es el soporte del sensor pirómetro de temperatura que ubica el haz de medición exactamente arriba del resorte que se está calentando, este soporte es una chapa metálica de 0,9mm de espesor con un agujero de 20mm de diámetro para la sujeción del sensor (ANEXO XXI). Todo el sistema descrito posee una base de chapa metálica de 0,9mm de espesor que soporta todo el mecanismo e incluso forma parte de la base del alimentador, la cual posee un agujero que desemboca en el canal del tanque de enfriamiento (ANEXO XVIII). Este mecanismo de sujeción y calentamiento se muestra en la figura 17.

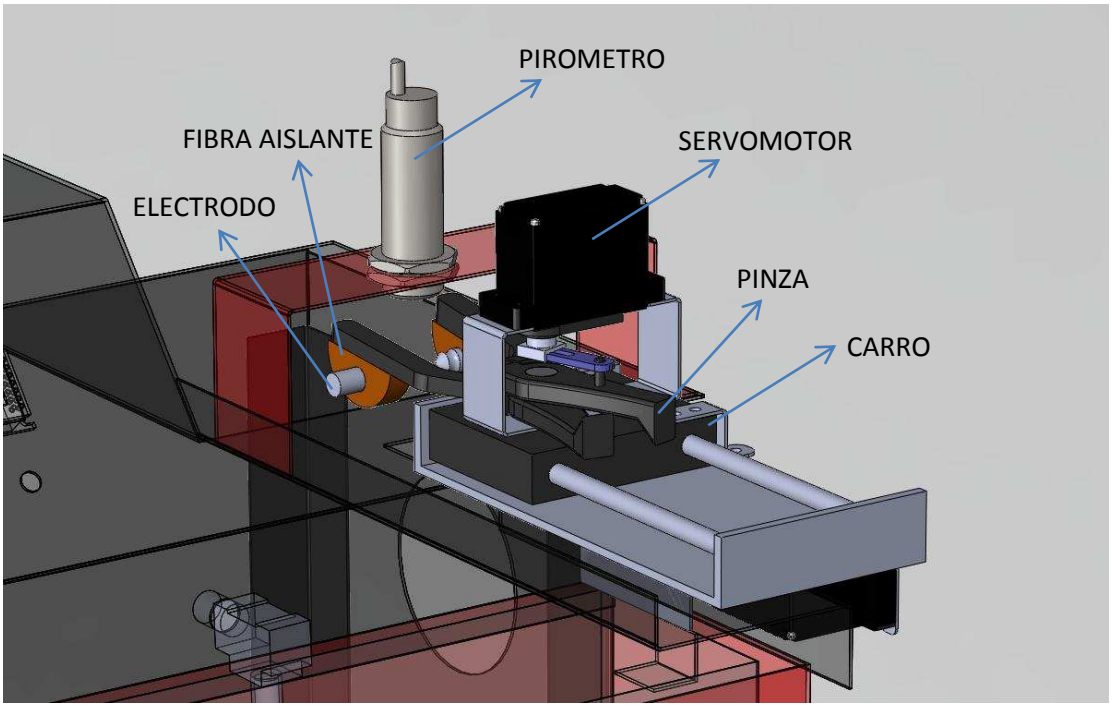

Figura 24. Sistema de Sujeción y Calentamiento

3.1.3. Sistema de Enfriamiento

Para culminar el proceso de temple de los resortes se implementará el tanque de enfriamiento armado de tol negro de 0,9mm de espesor, de forma rectangular con una capacidad máxima de 3,6 litros (ANEXO XXV). Este tanque tiene como objetivo contener agua a temperatura ambiente como medio de enfriamiento, el volumen está diseñado para que no sea necesaria la recirculación de agua debido a la relación de volumen versus la energía térmica que disipa cada resorte templado. Adicionalmente el tanque posee un contenedor interno de acero inoxidable con agujeros en su fondo a manera de rejilla de extracción, que permite extraer los resortes sin necesidad de sumergir la mano en el agua (ANEXO X). Para lograr tener un proceso totalmente controlado, en el tanque de enfriamiento se encuentra sumergido un sensor de temperatura para monitorear constantemente la temperatura del medio de enfriamiento en caso de uso continuo. Este sensor se encuentra introducido en un eje metálico con una palanca para permitir que se levante el sensor cuando el tanque sea retirado (ANEXO XXXI). Todo el sistema de enfriamiento se puede observar en la figura 18.

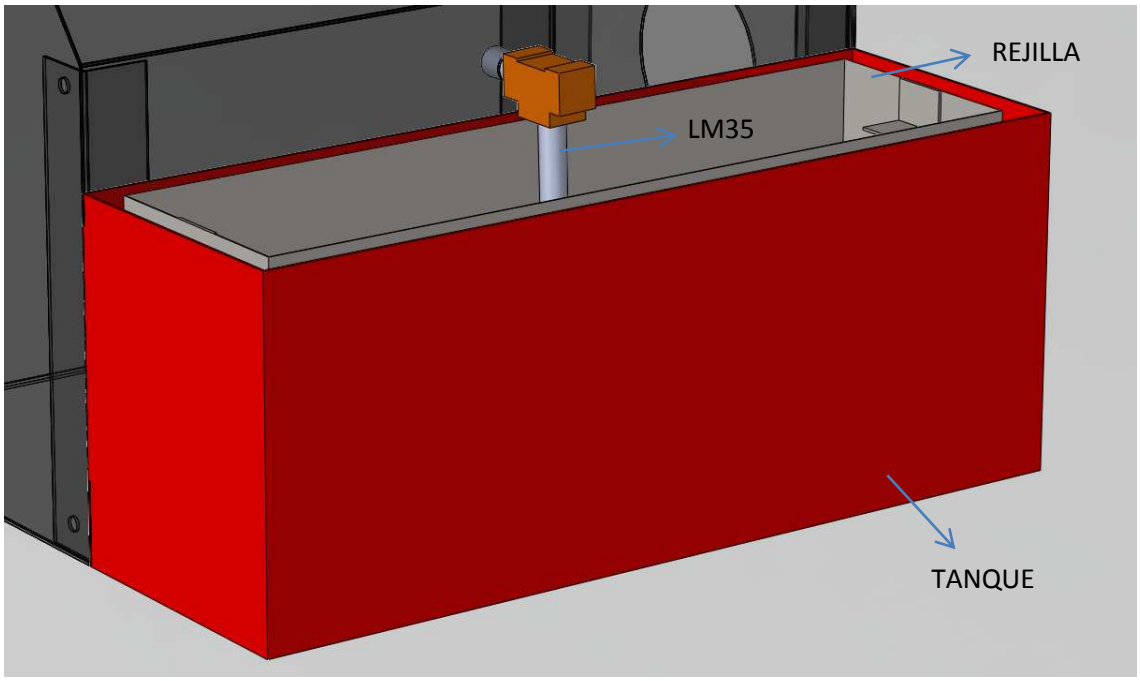

Figura 25. Sistema de Enfriamiento

3.1.4. Estructura Soportería y Cubiertas

Toda la maquina posee un soporte de chapa metálica de tol negro 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 de 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 (ANEXO V). Las tapas que cubren los dos extremos de la caja tienen agujeros concéntricos para colocar el ventilador que tiene como objetivo enfriar la tarjeta electrónica, como se puede observar en los ANEXOS XIII y XXX. 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 criticas de alimentación y calentamiento no puedan moverse o variarse manualmente, como por ejemplo, la primera cubierta fabricada que cubre todo el mecanismo de sujeción y calentamiento, de tol negro de 0,9mm de espesor (ANEXO XXIX).

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 como se muestra en el ANEXO XXVIII.

La máquina se muestra en la figura 19, con un terminado final de pintura electrostática negra y roja texturizada. Las dimensiones totales del ensamble se mostrarán en el plano de conjunto resaltando las partes más importantes de la maquina (ANEXO 1).

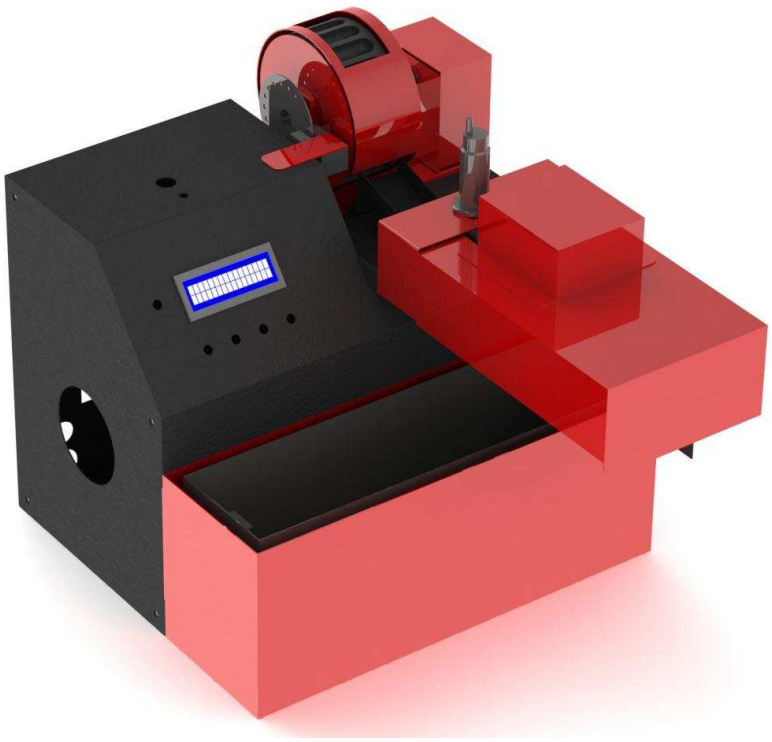

Figura 26. Ensamble de la máquina

3.2. SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

3.2.1. Descripción general del sistema eléctrico y electrónico

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 templar.

3.2.2. Elementos del sistema

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 20 podemos observar un diagrama de bloques del sistema eléctrico, en el que podemos observar los diferentes subsistemas que lo componen:

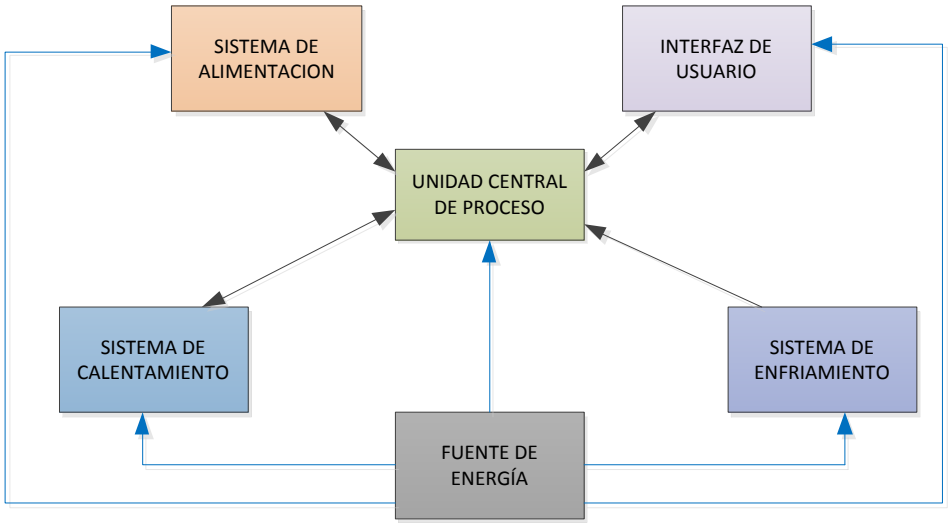

Figura 27. Diagrama de bloques Sistema Eléctrico

3.2.3. Sistema de alimentación

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

a) Motor de la rueda ranurada

El movimiento de la rueda ranurada se realiza utilizando un motor con un reductor mecánico basado en engranes. Las características del motor seleccionado para esta función se muestran en la tabla 9.

Voltaje nominal	5 V
Tipo de motor	DC imán permanente
Reducción mecánica	Si
Torque nominal	Kg.cm

Tabla 9. Motor de la Rueda de Alimentación

b) Encoder

Este dispositivo está formado por un emisor (LED infrarrojo) y un receptor (Fotodiodo) ópticos, colocados uno frente a otro, en medio de estos una rueda con 18 agujeros (la cantidad de agujeros es la misma que la cantidad de ranuras de la rueda), esta configuración permitirá hacer que la rueda avance una ranura a la vez. Las características del dispositivo mencionado se resumen en la tabla 10.

LED infrarrojo	
Corriente nominal	100 mA
Longitud de onda	940 nm
Angulo de emisión	40 °
Tiempo de respuesta	<1us
Fotodiodo	
Angulo de recepción	40 °
Filtro de luz visible	Si
Rango de sensibilidad	700 nm - 1100 nm
Tiempo de respuesta	<1us

Tabla 10. Características del Encoder

c) Vibrador

Después de realizar varias pruebas con un sistema de alimentación de resortes básico, formado únicamente por la rueda ranurada y el plano inclinado, se observó que en varios casos el resorte se ubicaba incorrectamente haciendo imposible su sujeción con la pinza. Este inconveniente se solucionó colocando un imán al final del plano inclinado, y un vibrador que agite el plano mientras el resorte desciende, de esta manera se consigue que el resorte se posicione en el lugar correcto de una manera confiable. En la figura 21 podemos observar el vibrador seleccionado y sus características se resumen en la tabla 11.

Figura 28. Vibrador

Diámetro	20mm
Longitud	25mm
Peso	25g
Voltaje nominal	5VDC
Corriente nominal	100mA
Voltaje de arranque	3VDC
RPM	5000
Resistencia armadura	13,5 Ohm

Tabla 11. Características del Vibrador

3.2.4. Sistema de calentamiento y sujeción

El 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:

a) Servomotores

Para controlar tanto el movimiento de apertura-cierre de la pinza, como su avance y retroceso, se eligió utilizar servomotores, dado que su manejo es sencillo, permiten control de posición angular preciso, y puesto que no se requiere de torque ni velocidades elevadas, el costo es bajo. Los servomotores elegidos para esta aplicación son de modelo HS-311 de la marca HITEC. En la figura 22 podemos observar los motores seleccionados y sus especificaciones técnicas se detallan en la tabla 12.

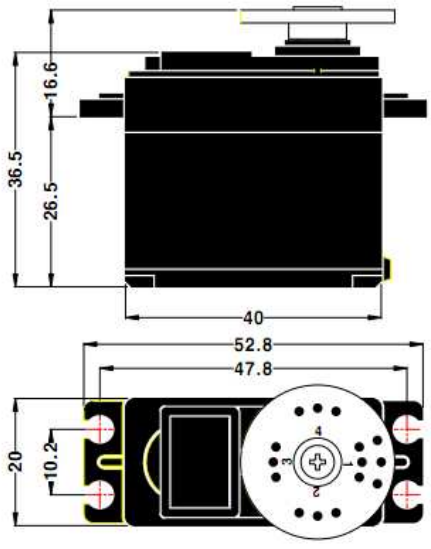

Figura 29. Servomotor HITECH HS-311

Sistema de control	PWM
Voltaje nominal	4,8 a 6 VDC
Velocidad nominal	0,19 seg/ 60°
Torque nominal	3 Kg.cm
Corriente sin carga	160 mA
Tipo de motor	DC Imán permanente
RPM	9000
Peso	43 g

Tabla 12. Características servomotor HS-311

b) Sensor pirométrico

El sensor pirométrico elegido para esta aplicación, basando la decisión en características de desempeño y costo, fue el sensor OS136-2-V1 de la marca Omega. En la figura 23 podemos observar el sensor seleccionado y en la tabla 13 se detallan sus especificaciones técnicas.

Figura 30. Sensor Pirométrico OMEGA

Rango de temperatura	149 a 538 °C
Transmisor incluido	Si
Tipo de salida	Analógica 0 a 5 VDC
Tiempo de respuesta	150 ms
Emisividad	0,95
Alimentación	12 a 32 VDC, 50mA
Precisión	3% de la lectura
Repetitividad	1% de la lectura

Tabla 13. Características Sensor Pirométrico

Función de transferencia del sensor escogido

El sensor que se ha seleccionado incluye un transmisor que entrega a su salida un voltaje DC proporcional a la temeratura medida, el rango de temperatura que puede medir el sensor se encuentra entre 149°C y 538°C, para el cual se entrega a la salida del transmisor un voltaje entre 0 y 5VDC, de estos datos se puede obtener fácilmente la función de transferencia del sensor:

Al tratarse de una relación lineal, la ecuación que describe la relación entre la temperatura medida por el pirómetro y el voltaje entregado a su salida deberá tener la forma:

$$V = mT + b$$

Donde:

$$V = Voltaje\ de\ salida\ del\ pirómetro$$

$$T = Temperatura\ medida\ en\ °C$$

$$m, b = constantes\ a\ calcular$$

Si se reemplazan los límites del rango de funcionamiento del sensor en la ecuación anterior se obtiene:

$$0 = m(149) + b$$

$$5 = m(538) + b$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones anterior se obtiene:

$$b = -1.92$$

$$m = 0.013$$

Por lo tanto, la ecuación que relaciona la temperatura medida con el voltaje de salida del pirómetro es la siguiente:

$$V = 0.013\,T - 1.93$$

c) Circuito de potencia y detección del resorte

Este elemento es el encargado de detectar si existe o no un resorte entre los bornes de la pinza y además, de entregar la corriente necesaria para calentar el material. Para tal efecto se ha elegido utilizar un relevador con un contacto de dos posiciones, en una de las posiciones se comprobará la presencia del resorte y en la otra se conectará al resorte directamente a la fuente de alimentación de 3.3VDC, que calentará el resorte con rapidez. El relevador seleccionado deberá soportar la intensidad de corriente que circulará por el resorte, valor que se determinó midiendo la resistencia del bobinado de alambre que forma el resorte. La resistencia promedio medida de los resortes a templar es de 0.38 Ohmios, por tanto, calculando se obtiene:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{3.3\,V}{0.38\,Ohm} = 8.68\,A$$

Conociendo este requerimiento se eligió utilizar un relevador diseñado para soportar una corriente nominal de 10 A. El relevador seleccionado es el modelo

SRD-12VDC-SL-C, de la marca Songle. En la figura 24 se puede observar el relevador y sus especificaciones técnicas se resumen en la tabla 14.

Figura 31. Relé Songle 10A

Carga nominal	10A
Resistencia del contacto	<100 mΩ
Vida útil eléctrica	100.000 conmutaciones
Vida útil mecánica	10.000.000 conmutaciones
Voltaje de la bobina	12VDC
Tipo de montaje	PCB
Peso	10g
Potencia de la bobina	0,36 a 0,45 Watts

Tabla 14. Características Relé Songle 10A

3.2.5. Sistema de enfriamiento

El sistema de enfriamiento, como se explicó anteriormente, consiste en soltar el resorte en un tanque con agua fría inmediatamente después de que ha alcanzado la temperatura de temple. En esta parte del proceso, es importante asegurarse de que el tanque se encuentra colocado y lleno de agua 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 la temperatura del agua se ha elevado por encima de los 35 ℃.

Los elementos de este subsistema se explican a continuación:

a) Detección de la presencia del tanque

El tanque de agua de enfriamiento del equipo se fija en su posición mediante dos imanes que se encuentran en la parte frontal del equipo, se coloca un microswitch que se presiona al momento de fijar el tanque a los imanes, de esta manera se podrá determinar si está presente o no el tanque al momento de realizar el temple. La figura 25 muestra el microswitch seleccionado y sus especificaciones técnicas se resumen en la tabla 15.

Figura 32. Microswitch de detección de tanque

Carga nominal	5A
Circuito	SPDT
Terminales	Conexión rápida
Voltaje máximo	250 VAC
Material de contactos	Oxido de cadmio

Tabla 15. Características del Microswitch

b) Sensor de temperatura para el tanque de enfriamiento

El sensor a utilizar para medir la temperatura del tanque cumple con los siguientes requerimientos:

- Rango de temperatura: 0 a 100 °C.
- Tiempo de respuesta: No aplica.
- Linealidad: Típica.
- Costo: Bajo.

Basando la decisión en los puntos anteriores, se eligió utilizar un sensor de temperatura integrado, por su elevada linealidad, rango de temperatura adecuado y muy bajo costo. El sensor escogido es el LM35, cuyas especificaciones se resumen en la tabla 16.

Rango de temperatura	0 a 155 °C
Salida	Lineal 10 mV/°C
Precisión	0,5 °C
Alimentación	4 a 30 VDC

Tabla 16. Especificaciones del Sensor de temperatura del tanque

3.2.6. Interfaz de usuario

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

a) Display

En el Display del equipo se muestran datos relevantes del proceso como: cantidad de resortes que se van a templar, cantidad de resortes templados, alarmas, menús, etc. Por esta razón, se ha considerado suficiente con colocar un LCD alfanumérico con 2 filas de 16 caracteres. El LCD seleccionado se muestra en la figura 26 y sus especificaciones técnicas se muestran en la tabla 17.

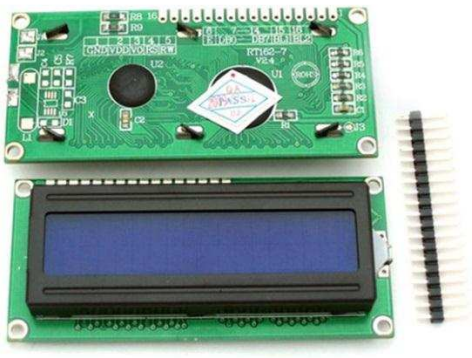

Figura 33. Display LCD 16x2

Número de caracteres	255
Backlight	Si
Alimentación	5 VDC
Control de contraste	Si

Tabla 17. Características LCD 16x2

b) Pulsadores de navegación

Para manejar la interfaz se ha decidido colocar 4 pulsadores con las funciones: Arriba, Abajo, Enter y Escape. Los pulsadores seleccionados son pulsadores normalmente abiertos para montaje en panel. La disposición de los pulsadores en el panel frontal se muestra en la figura 27.

ARRIBA ABAJO ENTER ESCAPE

Figura 34. Pulsadores de Navegación

c) Switch de emergencia

Como en todo equipo industrial, se ha considerado necesario colocar un switch de emergencia que permita detener el funcionamiento del equipo en cualquier momento en caso de que ocurra algún acontecimiento inesperado. Para este efecto se ha seleccionado un pulsador tipo toggle de dos posiciones que se ha colocado en la parte superior del equipo como se puede observar en la figura 28.

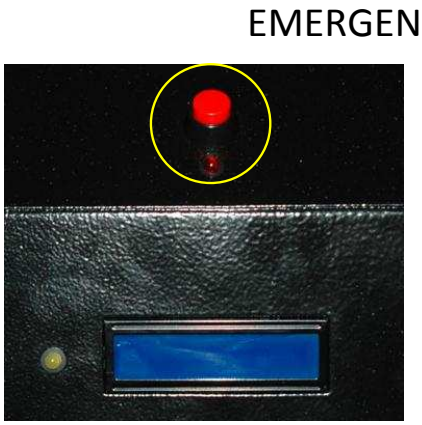

Figura 35. Switch de Emergencia

d) LEDS indicadores

Se ha colocado en el equipo dos LEDS, uno rojo para indicar un estado de emergencia y uno amarillo para llamar la atención del operador a manera de advertencia en caso de malfuncionamiento del equipo o de que el usuario haya cometido algún error. En la figura 29 podemos ver la ubicación de dichos LEDS.

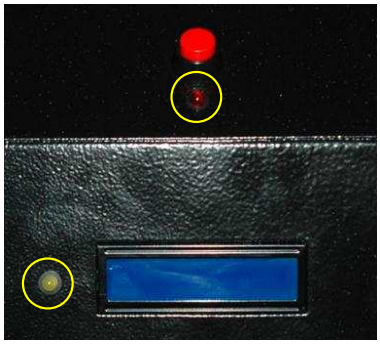

Figura 36. Leds Indicadores de Estado

e) Buzzer

Con la finalidad de generar una advertencia auditiva para el operador se ha decido instalar un buzzer de 5VDC que será utilizado para llamar la atención del usuario cuando este no se encuentre mirando a la interfaz.

3.2.7. Unidad central de proceso

Esta parte del sistema eléctrico es la más importante pues está encargada de gestionar el funcionamiento lógico completo del equipo. Existen varias opciones para manejar las entradas y salidas necesarias en esta aplicación, entre las cuales podemos mencionar: PLCs, Microcontroladores, PC, etc.

Debido a los niveles de voltaje que se manejan en los diferentes elementos del sistema eléctricos, a la presencia de un LCD para el cual existen librerías estándar en lenguaje C y al costo, se ha decidido utilizar un microcontrolador como unidad central de proceso. Los requerimientos del microcontrolador a utilizar son los siguientes:

- 23 E/S digitales.
- 2 Entradas analógicas.
- 1 Timer con preset programable.
- 1 Interrupción externa.

Considerando los requerimientos mencionados, y además, dado que la cantidad de funciones que se requiere es significativa, se ha elegido utilizar el microcontrolador PIC18F452 de Microchip, cuyas características se muestran en la tabla 18.

Memoria de programa	32 KB (Flash)
Velocidad del CPU	10 MIPS
Memoria RAM	1536 Bytes
Memoria EEPROM de datos	256 Bytes
Periféricos de comunicación	1 USART, 1 MSSP
Periféricos de captura/comparación/PWM	2 CCP
Timers	1 x 8 bits, 3 x 16 bits
ADC	8 canales, 10 bits
Número de pines	40

Tabla 18. Características del Microcontrolador

En la tabla 19 a continuación se detalla la asignación de entradas y salidas del microcontrolador hacia los distintos elementos del sistema eléctrico.

PIN	E/S	TIPO	FUNCION
2	AN0	ENTRADA ANALÓGICA	PIROMETRO
3	AN1	ENTRADA ANALÓGICA	LM35
8	RE0	SALIDA DIGITAL	LCD ENABLE
9	RE1	SALIDA DIGITAL	LCD RS
10	RE2	SALIDA DIGITAL	LCD RW
15	RC0	SALIDA DIGITAL	SERVOMOTOR APERTURA PINZA
16	RC1	SALIDA DIGITAL	SERVOMOTOR AVANCE PINZA
17	RC2	SALIDA DIGITAL	BOBINA RELE
18	RC3	SALIDA DIGITAL	BUZZER
23	RC4	SALIDA DIGITAL	VIBRADOR
24	RC5	ENTRADA DIGITAL	ENCODER
25	RC6	ENTRADA DIGITAL	DETECCION DE RESORTE
26	RC7	ENTRADA DIGITAL	MICROSWITCH TANQUE
27	RD4	SALIDA DIGITAL	LCD D4
28	RD5	SALIDA DIGITAL	LCD D5
29	RD6	SALIDA DIGITAL	LCD D6
30	RD7	SALIDA DIGITAL	LCD D7
33	RB0	ENTRADA DIGITAL	PULSADOR ARRIBA
34	RB1	ENTRADA DIGITAL	PULSADOR ABAJO
35	RB2	ENTRADA DIGITAL	PULSADOR ENTER
36	RB3	ENTRADA DIGITAL	PULSADOR ESCAPE
37	RB4	SALIDA DIGITAL	LED ROJO
38	RB5	SALIDA DIGITAL	LED AMARILLO
39	RB6	ENTRADA DIGITAL	SWITCH EMERGENCIA
40	RB7	SALIDA DIGITAL	MOTOR RUEDA

Tabla 19. Asignación de Entradas y Salidas en el Microcontrolador

3.2.8. Fuente de energía

Todos los elementos del sistema eléctrico necesitan de un voltaje de DC filtrado y estable, para lo cual se requiere instalar una fuente de poder de corriente continua, que entregue a su salida los niveles de voltaje necesarios para energizar los distintos elementos del sistema.

3.2.8.1. Cálculo de la fuente para calentamiento del resorte

La fuente que se utilizará para calentar el resorte deberá tener la capacidad de entregar al menos 8.34 Amperios de corriente (como se calculó previamente) y un voltaje suficiente como para generar esta corriente en el bobinado del resorte, por tanto:

$$V = IR = (8.34)0.38 = 3.17\,V$$

El valor de voltaje efectivo más cercano al resultado anterior es de 3.3 VDC, este valor es ligeramente superior al valor calculado por lo que procederemos a calcular el tiempo real teórico que tomará el proceso de calentamiento:

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{3.3^2}{0.38} = 28.66\,W$$

$$t = \frac{C_e m \Delta\theta}{P} = \frac{490(3 \times 10^{-3})(180)}{28.66} = \mathbf{9.23\ seg}$$

El resultado obtenido es inferior al asumido en el cálculo de la corriente, por tanto es satisfactorio.

3.2.8.2. Resumen de requerimientos de la fuente

Los niveles de voltaje requeridos por el sistema eléctrico y su aplicación se muestran en la tabla 20.

NIVEL DE VOLTAJE	ELEMENTOS	CORRIENTE NECESARIA
3.3 VDC	Vibrador, calentamiento resorte	~ 10A
5 VDC	Microcontrolador, LCD, pulsadores, switches, LEDS, buzzer, motores, Encoder	~ 2A
12 VDC	Pirómetro, bobina relevador	~ 1A

Tabla 20. Características Fuente de Energía

Otro requerimiento importante de la fuente de alimentación del sistema eléctrico es que debe ocupar un espacio pequeño pues debe caber dentro de la caja que forma el armazón del equipo.

Dadas las especificaciones anteriores, la mejor opción en cuanto a funcionalidad y costo es una fuente conmutada de DC para computador, este tipo de fuente entrega a su salida los voltajes apropiados, con niveles de corriente muy por encima de los requerimientos del sistema, incluye un sistema de protección contra cortocircuitos, sistema de ventilación y ocupa muy poco espacio.

3.3. Arquitectura de hardware

La interconexión de todos los elementos descritos en el apartado anterior se realizó de acuerdo al esquema eléctrico de la figura 30.

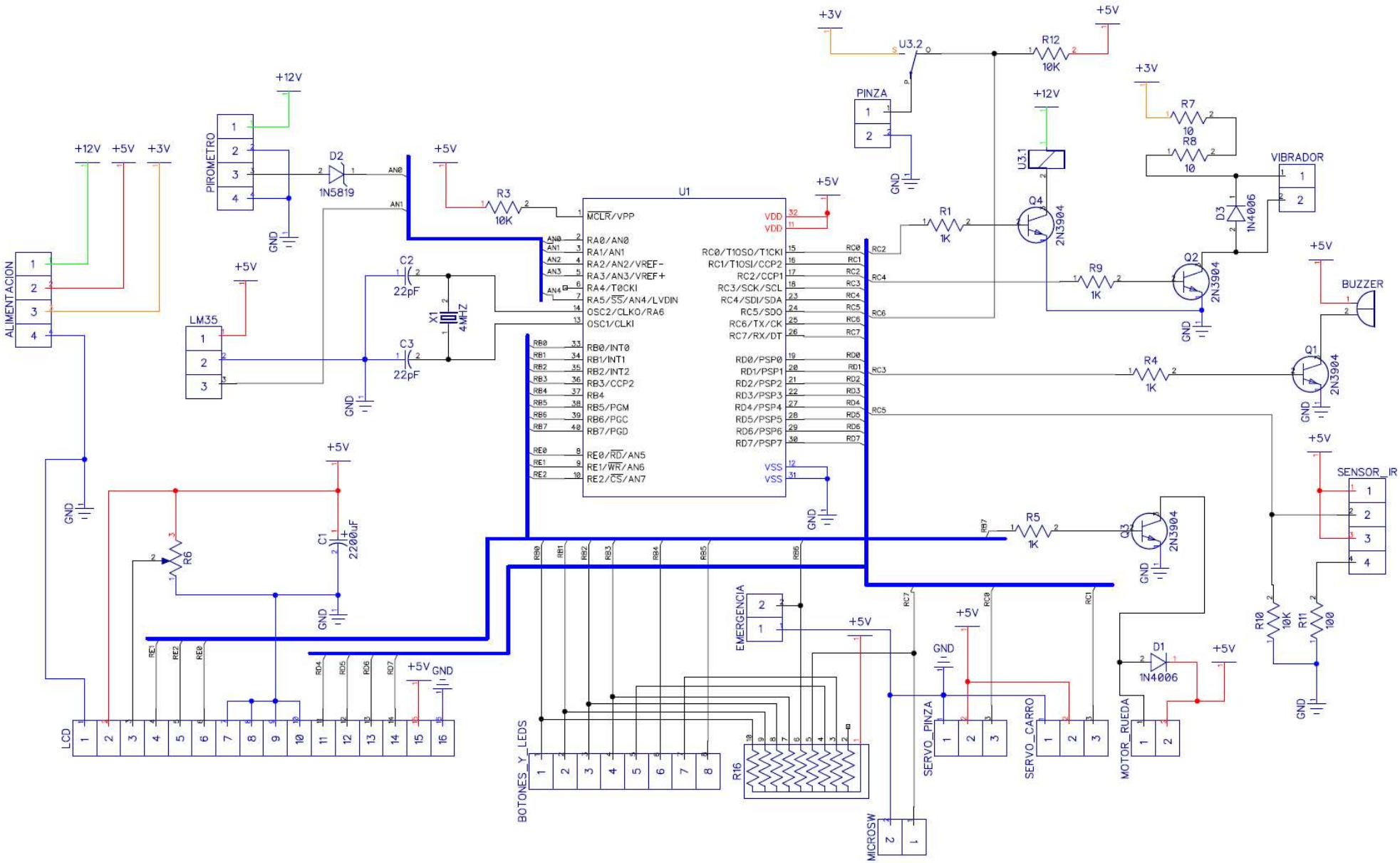

Figura 37. Arquitectura de Hardware

Como se puede observar en el esquemático, se ha elegido utilizar conectores para todos los elementos del sistema eléctrico, de esta manera se facilita la instalación y mantenimiento de los mismos.

A continuación se explica en detalle cada parte del diseño electrónico a partir del cual se obtuvo el esquemático anterior:

3.3.1. Entradas

a) Pulsadores y switches

Todos los pulsadores y switches utilizados son normalmente abiertos y se conectaron utilizando un resistor en configuración "Pull-up" como se muestra en la figura 31 Debido a esta configuración se trabajará con lógica negada en el programa, es decir, al presionar cualquier pulsador o switch, se obtendrá un cero lógico.

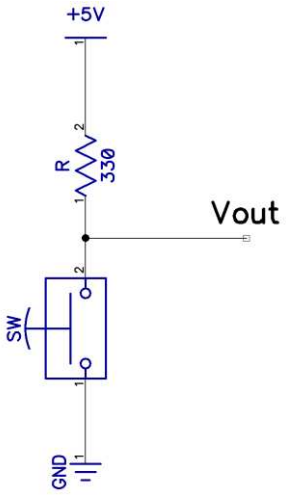

Figura 38. Configuración pulsadores y switches

b) Encoder

El Encoder, formado por un emisor y un receptor infrarrojos, se conectó como se muestra en la figura 32.

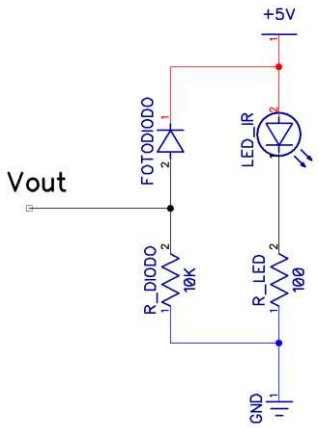

Figura 39. Configuración Encoder

Para calcular el valor del resistor que limita la corriente del LED infrarrojo, primero debemos calcular la tensión que caerá sobre dicho resistor:

$$V_R = 5 - V_{LED} = 5 - 1.6 = 3.4 \text{ [V]}$$

Ahora, si asumimos una corriente para el LED de 30 mA, obtenemos:

$$R_{LED} = \frac{3.4}{0.03} = 113\ \Omega$$

El valor comercial común más aproximado al resultado anterior es 100 Ω.

El fotodiodo permite un paso de corriente proporcional a la cantidad de luz que incide sobre si, por tanto, fue necesario realizar pruebas (discutidas en un capitulo posterior) para obtener a la salida del circuito un voltaje aproximadamente igual a 5 VDC cuando la luz incide sobre el receptor (cuando atraviesa un agujero del Encoder), y uno aproximadamente igual a 0 VDC cuando no lo hace. Después de varias pruebas se obtuvo un valor de 10 $K\Omega$ para este resistor con buenos resultados en el voltaje de salida.

c) Detección de resorte

El circuito que detecta la presencia de un resorte entre los bornes de la pinza se vale de las características del material del resorte, pues el acero del que está formado es un conductor eléctrico con una resistencia muy pequeña, es por esto que si colocamos el resorte en un divisor de tensión resistivo, en serie con una resistencia suficientemente grande, el voltaje que caerá sobre el resorte será despreciable, aproximadamente igual a 0 VDC, mientras que el voltaje de circuito abierto (en ausencia del resorte) será aproximadamente igual a 5VDC. El circuito que cumple esta función se ha colocado en una de las posiciones del contacto del relevador que permite el calentamiento del resorte, como se puede apreciar en la figura 33.

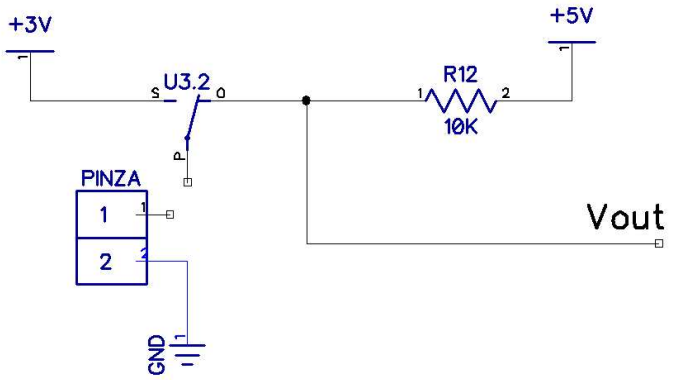

Figura 40. Conexión circuito detección de resortes

d) Pirómetro

El sensor pirométrico, como se mencionó anteriormente, entrega a su salida un voltaje analógico entre 0 y 5 VDC para un rango de temperaturas entre 149 y 538 °C, sin embargo, se comprobó experimentalmente que para temperaturas inferiores a este rango, la salida del sensor puede ser negativa y alcanzar un voltaje de hasta -0.8 VDC. A pesar de que este voltaje negativo es pequeño, se encuentra fuera del rango de seguridad especificado por el fabricante del microcontrolador (entre -0.2 V y VDD + 0.7 V). Por esta razón se ha colocado un diodo Schottky en serie con la salida del sensor, de esta manera es imposible que llegue un voltaje negativo a la entrada analógica del microcontrolador. Se eligió utilizar un diodo Schottky en

lugar de un diodo común de silicio pues este tipo de diodo tiene un tiempo de respuesta muy superior y su caída de tensión directa es muy pequeña (aproximadamente 0.2 VDC). De manera que el rango de medida del sensor no se ve muy afectado por este nivel de voltaje.

El circuito mencionado se ilustra en la figura 34

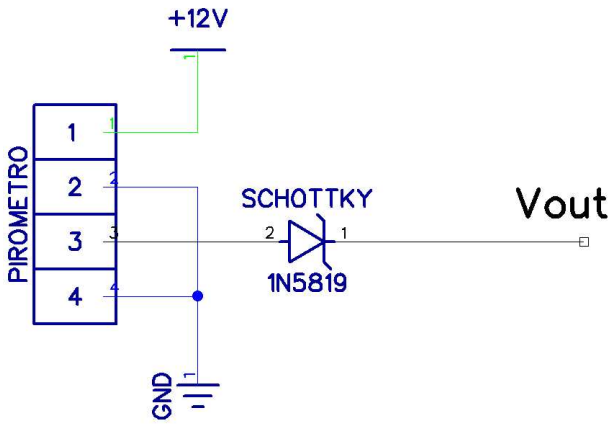

Figura 41. Conexión Sensor Pirométrico

e) LM35

El sensor integrado de temperatura LM35 entrega a su salida una tensión de 10 mV por cada grado centígrado de temperatura. Dado que la temperatura a medir es la del agua que se encuentra en el tanque de enfriamiento y esta solamente puede encontrarse en el rango entre 25 y 65°C para este proceso. La salida del sensor puede conectarse directamente a la entrada del microcontrolador como se muestra en la figura 35.

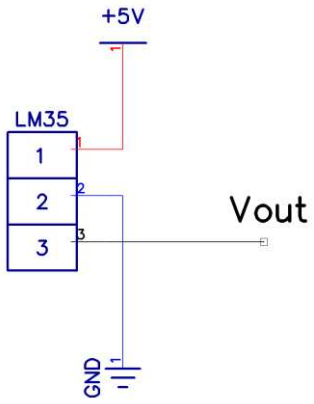

Figura 42. Conexión Sensor de temperatura LM35

3.3.2. Salidas

a) LCD

El LCD seleccionado para la aplicación está diseñado para ser manejado solamente con voltajes TTL, por lo tanto es directamente compatible con las salidas del microcontrolador. La conexión del LCD se ilustra en la figura 36.

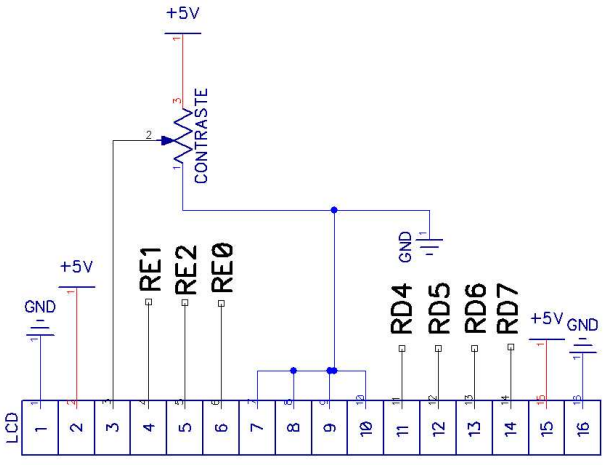

Figura 43. Conexión LCD

b) LEDS

Se ha elegido activar los LEDS de la interfaz de usuario con lógica negativa, y el resistor que limita su corriente se ha calculado de manera que la misma no supere los 10mA. El circuito mencionado se muestra en la figura 37.

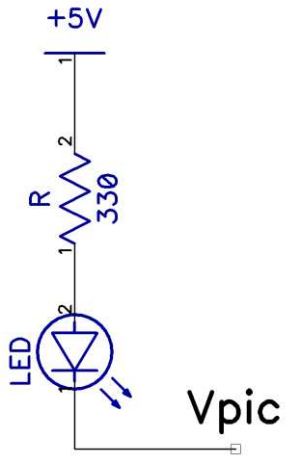

Figura 44. Conexión LEDS

c) Servomotores

Los servomotores seleccionados tienen la ventaja de que su señal de control es compatible con los niveles de voltaje TTL, por lo tanto el pin de control de los mismos puede ser conectado directamente a una de las salidas del microcontrolador, como se muestra en la figura 38.

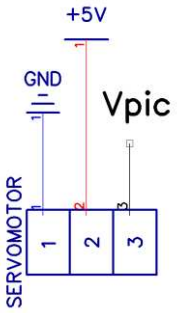

Figura 45. Conexión Servomotores

d) Motor de la rueda ranurada

Si bien el motor utilizado para mover la rueda ranurada tiene un voltaje nominal igual al nivel de voltaje TTL del microcontrolador, la corriente que consume es muy superior a la máxima permisible a través de una de sus salidas, es por esto que se ha colocado un transistor como conmutador para manejar el motor, el circuito mencionado se muestra en la figura 39.

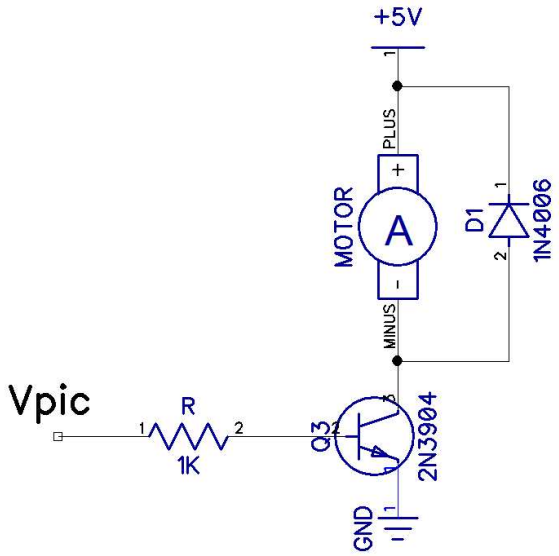

Figura 46. Conexión motor rueda ranurada

El resistor R de la figura se calculó tomando en cuenta la corriente mínima que debe correr por la base del transistor para hacerlo trabajar en saturación (como conmutador). Revisando la hoja de datos del fabricante sabemos que esta corriente se encuentra entre 1mA y 5mA, además, sabemos que el voltaje base-emisor del transistor en saturación es aproximadamente de 0.8 V, por lo tanto para una corriente de base igual a 4mA se obtiene:

$$V_R = V_{PIC} - V_{BE} = 5 - 0.8 = 4.2[\text{V}]$$

$$R = \frac{V_R}{I} = \frac{4.2}{0.004} = 1050\ [\Omega]$$

El valor comercial común más aproximado al calculado es de 1KΩ.

El diodo que se muestra en la figura se utiliza como “diodo volante”, y su función es descargar la corriente almacenada en el bobinado del motor cuando el transistor se pone en corte, de esta manera, dicha corriente no se descarga sobre el transistor y se evitan daños del mismo.

e) Vibrador

El vibrador utilizado es simplemente un pequeño motor de DC con una carga desbalanceada acoplada a su eje, por lo tanto, el circuito que lo activa es el mismo circuito que se utiliza para la activación del motor de la rueda ranurada. Sin embargo, dado que la fuente de alimentación seleccionada no dispone de un voltaje de salida de 1.2 VDC que es lo requerido por este motor, se ha colocado un resistor en serie que divida el voltaje entregado por la fuente (3.3 VDC) como se muestra en la figura 40.

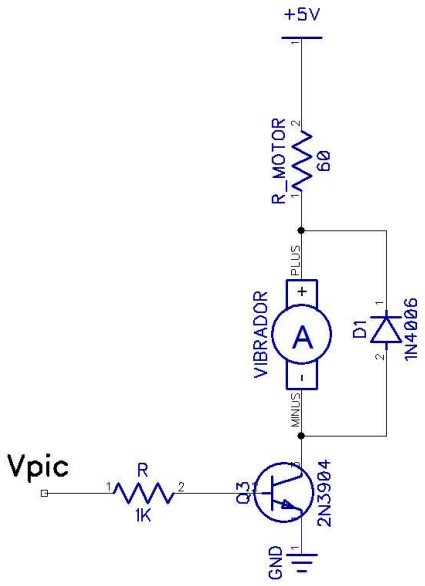

Figura 47. Conexión Vibrador

El cálculo del resistor R_{MOTOR} se realiza de la siguiente manera:

$$V_{VIBRADOR} = 5 - V_{RMOTOR} - V_{CE}$$

De la hoja de datos del fabricante del transistor sabemos que $V_{CE} \approx 0.3\,V$, entonces:

$$1.2 = 5 - V_{RMOTOR} - 0.3 \;\rightarrow\; V_{RMOTOR} = 3.5[\text{V}]$$

También sabemos, después de realizar una medición, que la resistencia del bobinado del motor es aproximadamente igual a 20 Ω. Entonces:

$$V_{RMOTOR} = \frac{R_{MOTOR}}{R_{MOTOR} + 20}(5 - 0.3) \rightarrow R_{MOTOR} = \frac{3.5(20)}{4.7 - 3.5} = 58[\Omega]$$

El valor elegido para R_{MOTOR} es por lo tanto de 60 Ω que se consiguió colocando dos resistores de 30 Ω en serie.

El valor de la resistencia de la base del transistor se realiza de la misma manera que para el motor de la rueda ranurada.

f) Buzzer y bobina del relevador

Al igual que para el motor de la rueda ranurada, para el buzzer y para la bobina del relevador es necesario colocar un transistor como conmutador que evite el paso de corrientes muy elevadas por las salidas del microcontrolador, el circuito mencionado es el mismo que se utilizó para el motor de la rueda ranurada.

3.4. Diseño del circuito impreso

Para el diseño del PCB (circuito impreso) del equipo se utilizó un software especializado llamado Diptrace, mismo que facilita el diseño mediante funciones de colocación y ruteo

automatizados. El resultado del diseño fue un circuito impreso de doble cara, como se muestra en las figuras 41, 42, 43, 44.

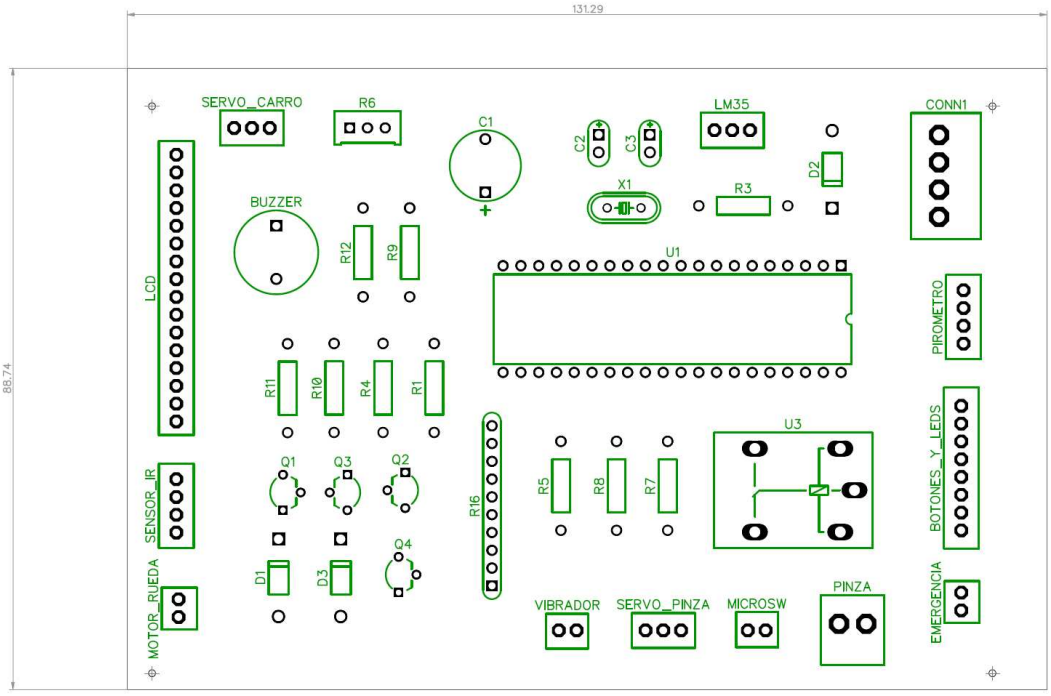

Figura 48. Distribucion de componentes

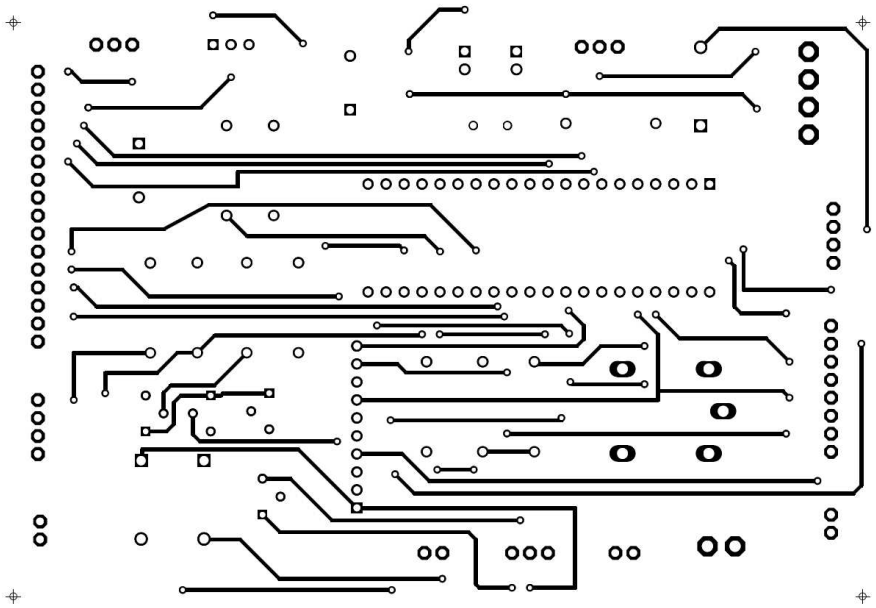

Figura 49. Cara superior

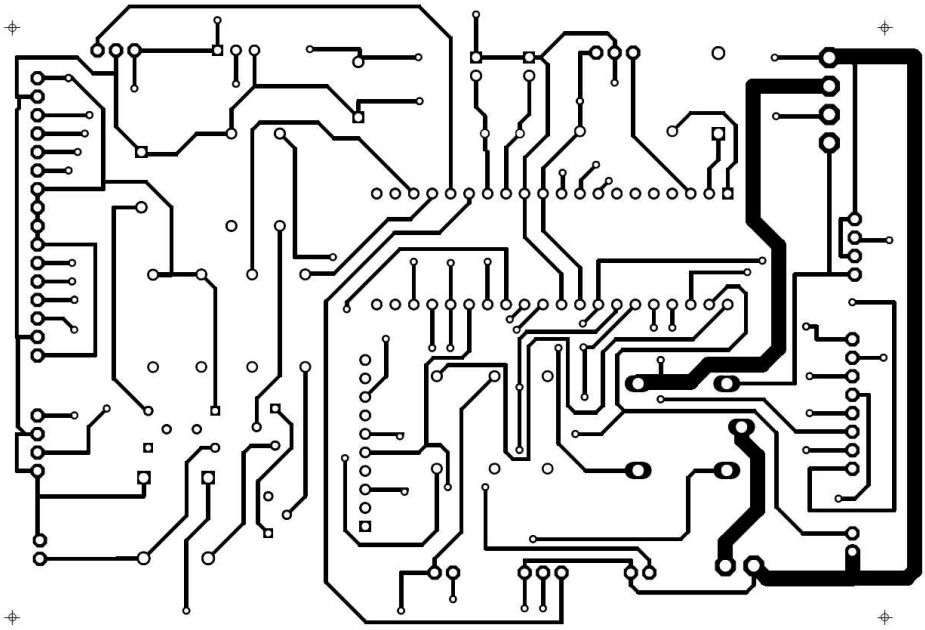

Figura 50. Cara inferior

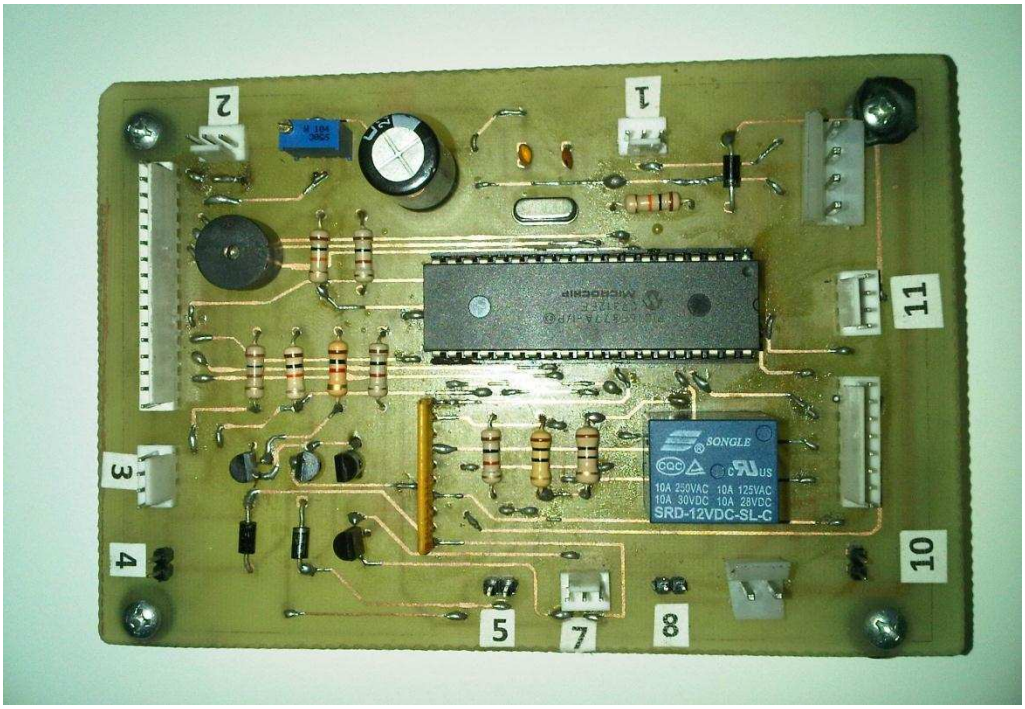

Figura 51. Circuito Impreso

3.5. FIRMWARE

3.5.1. 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 presenta una explicación detallada del proceso de desarrollo del mismo.

3.5.2. Diagramas de flujo

La manera más sencilla de comprender la secuencia lógica que debe cumplir el firmware del equipo es mediante la utilización de diagramas de flujo, se ha dividido al proceso en varias subrutinas, y para cada una de ellas se ha creado un diagrama de flujo que la describe.

3.5.2.1. 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. La figura 45 muestra el funcionamiento de esta rutina.

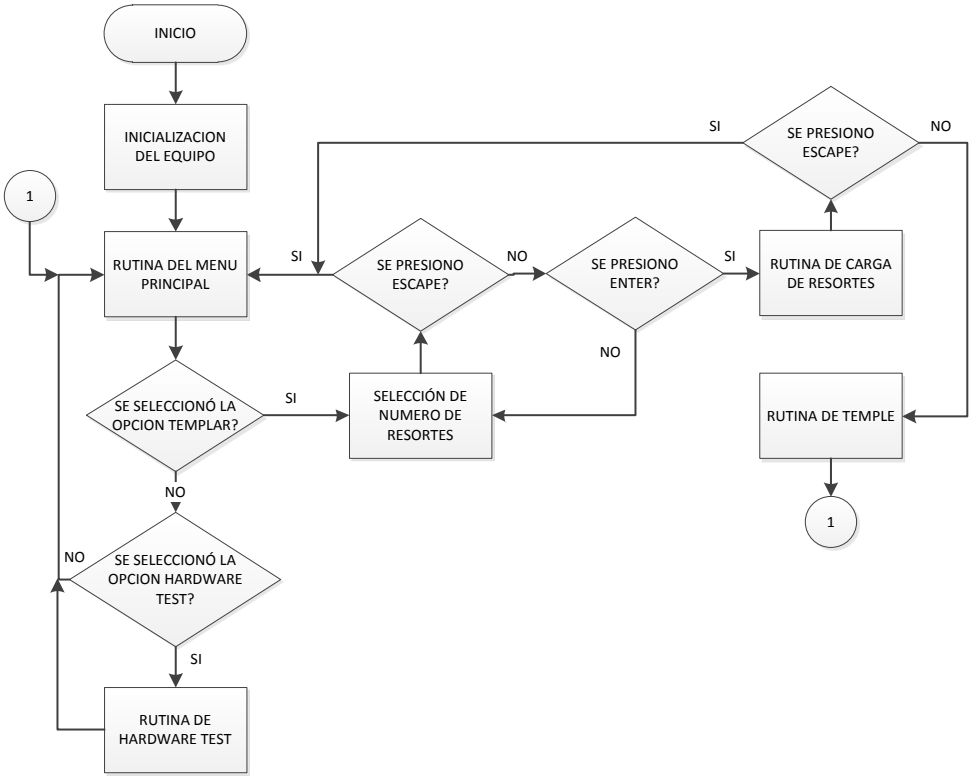

Figura 52. Diagrama Rutina Principal

3.5.2.2. 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, el diagrama 46 explica su funcionamiento.

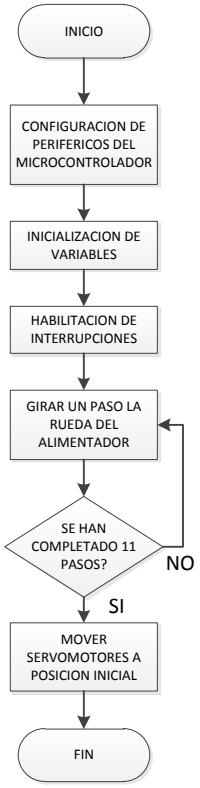

Figura 53. Rutina Inicialización del Equipo

3.5.2.3. 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. El funcionamiento de esta rutina se detalla en el diagrama 47.

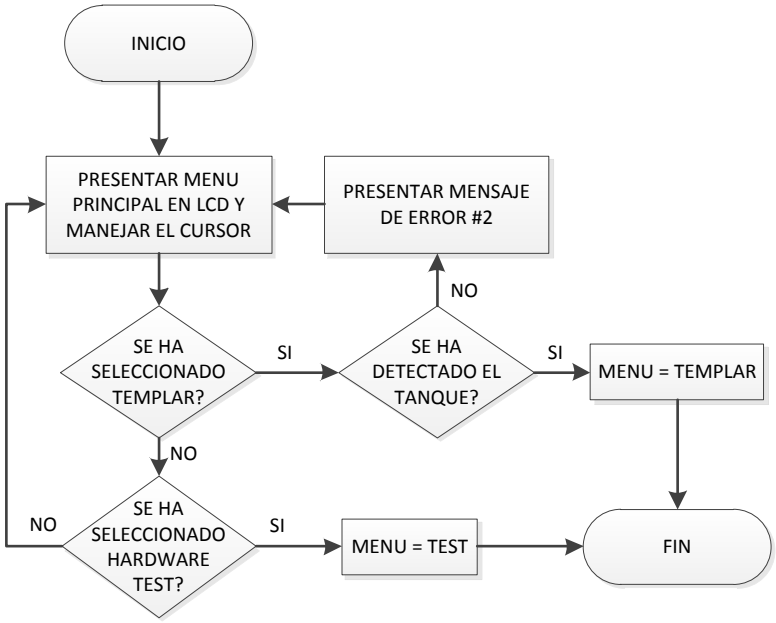

Figura 54. Rutina Menú Principal

3.5.2.4. Rutina del test de hardware

Permite al operador comprobar el correcto funcionamiento de todos elementos eléctricos del equipo, su funcionamiento se detalla en el diagrama 48.

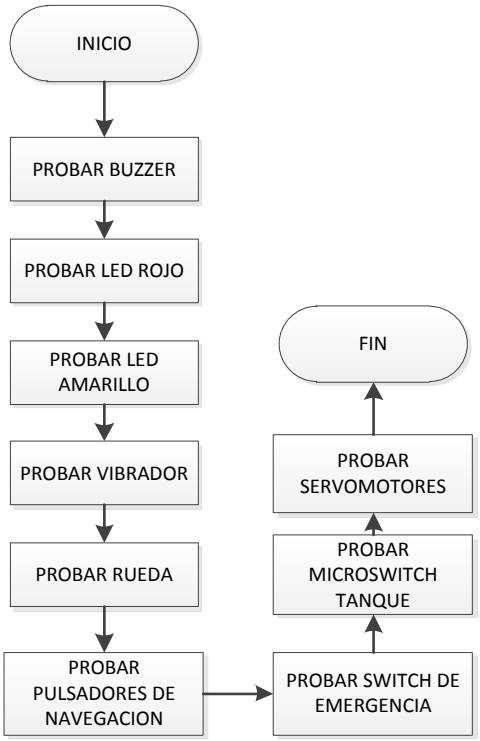

Figura 55. Rutina Test de Hardware

3.5.2.5. Rutina de selección de número de resortes

Esta rutina le permite al operador seleccionar cuantos resortes quiere templar entre 1 y 11, el funcionamiento de la rutina se explica en el diagrama 49.

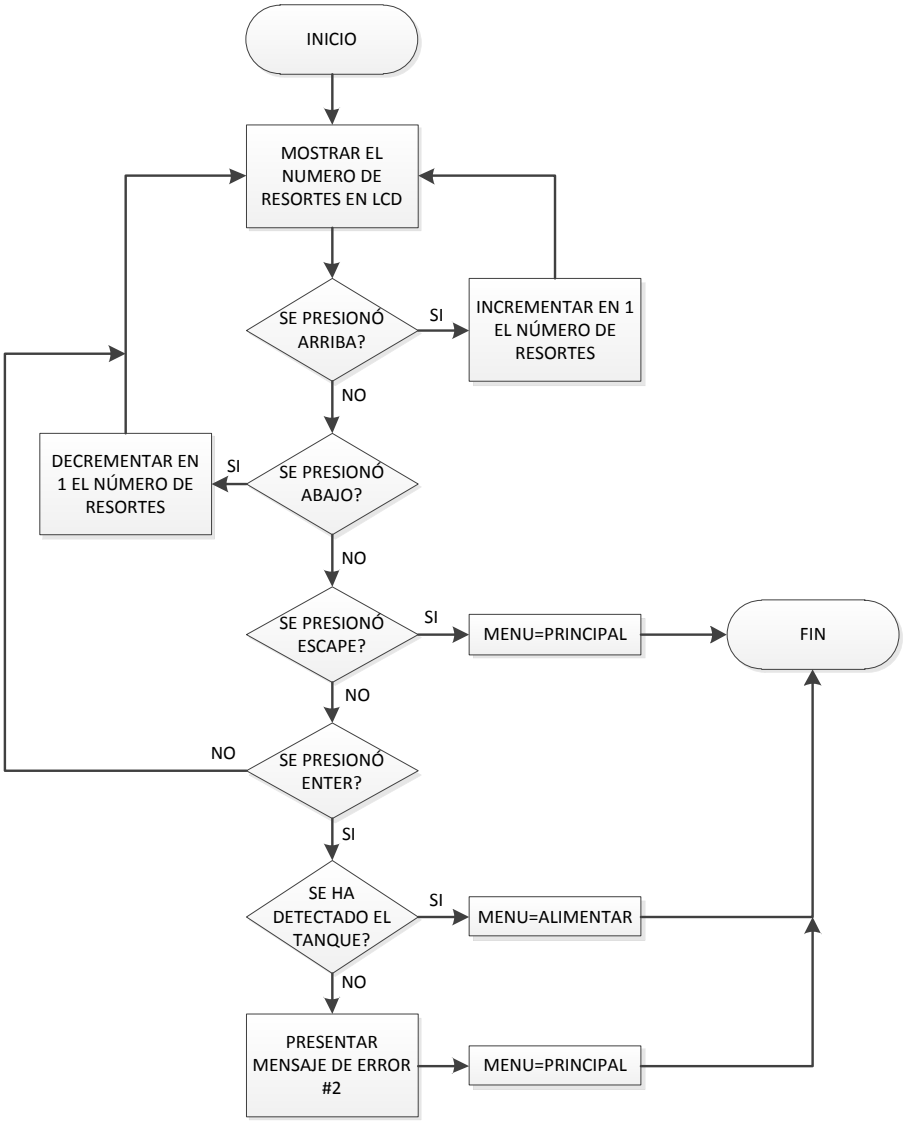

Figura 56. Rutina Selección de Número de Resortes

3.5.2.6. 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. El funcionamiento de esta rutina se explica en el diagrama de la figura 50.

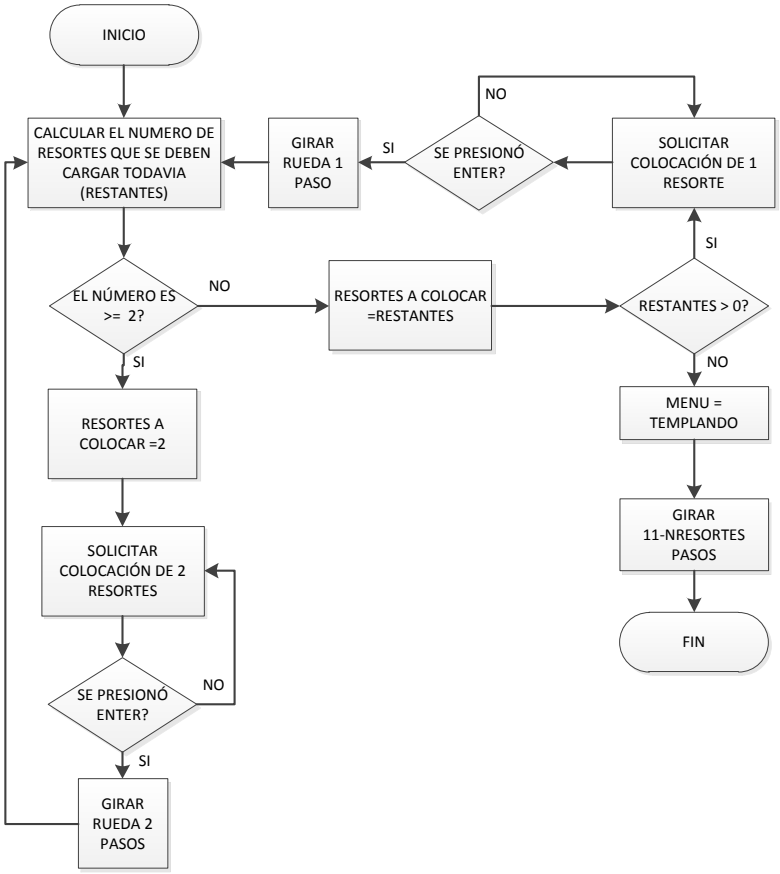

Figura 57. Rutina de Carga de Resortes

3.5.2.7. 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. El funcionamiento de esta rutina se explica en el diagrama de la figura 51.

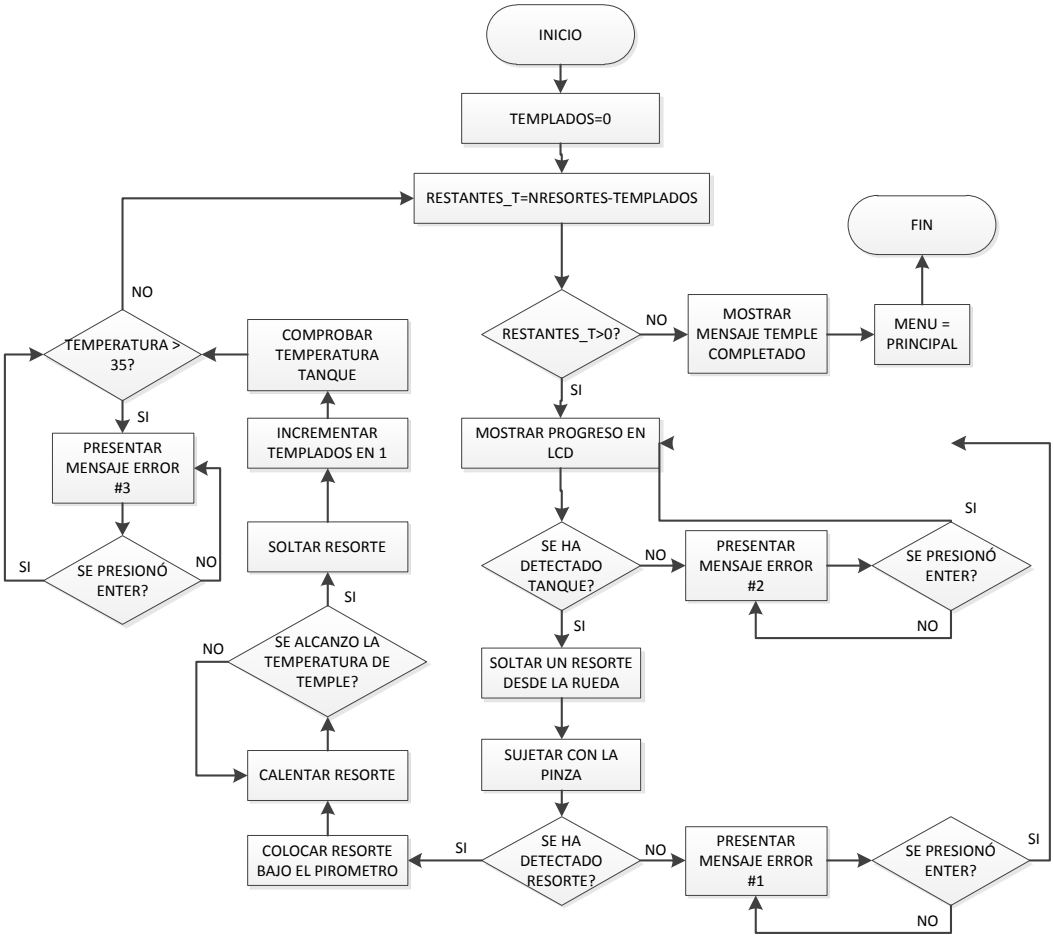

Figura 58. Rutina de Temple

3.5.2.8. Rutina de emergencia

Esta rutina es una de las más importantes dentro del funcionamiento del programa ya que en cualquier estado en la que se encuentre la máquina esta rutina actuará haciendo que se anule cualquier situación atípica o peligrosa para el operador.

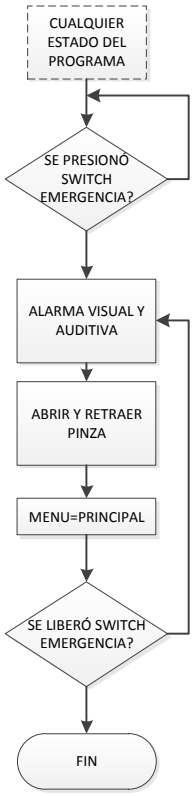

Figura 59. Rutina de Emergencia

3.5.3. Código

A continuación se mostrará el código fuente creado para cada una de las rutinas explicadas anteriormente.

3.5.3.1. Rutina Principal

El código que se muestra a continuación ha sido simplificado de manera que sea fácilmente comprensible, cada segmento de código perteneciente a cada una de las subrutinas internas del código principal se mostrará posteriormente.

```
void main(){

RUTINA DE INICIALIZACIÓN.
while(1){
	switch(MENU){
		case PRINCIPAL:
			RUTINA DEL MENÚ PRINCIAL
		case TEMPLAR:
			RUTINA SELECCION DE NÚMERO DE RESORTES
		case ALIMENTAR:
			RUTINA CARGA DE RESORTES
		case TEST:
			RUTINA TEST DE HARDWARE
		case TEMPLANDO:
			RUTINA DE TEMPLE
		case EN_EMERGENCIA:
			RUTINA DE EMERGENCIA
	}
}
}
```

3.5.3.2. Rutina de inicialización

Esta rutina realiza la configuración inicial de cada uno de los periféricos de hardware internos del microcontrolador, inicializa las variables del programa y finalmente gira la rueda del alimentador 11 pasos para asegurarse de que el mismo está vacío al comenzar el trabajo.

```
set_tris_b(0b01001111);
set_tris_c(0b11100000);
set_tris_d(0x00);
set_tris_e(0x00);
setup_adc_ports(AN0_AN1_AN3);
setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_2);
setup_psp(PSP_DISABLED);
setup_spi(SPI_SS_DISABLED);
setup_wdt(WDT_OFF);
setup_timer_0(RTCC_INTERNAL);
setup_timer_1(T1_DISABLED);
setup_timer_2(T2_DIV_BY_16,31,4);
setup_timer_3(T3_DISABLED|T3_DIV_BY_1);
output_high(LED_ROJO);
output_high(LED_AMARILLO);
output_low(BUZZER);
output_low(VIBRADOR);
output_low(RUEDA);
pitar(1);
lcd_init();
enable_interrupts(INT_TIMER2);
enable_interrupts(GLOBAL);
lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc,"INICIALIZANDO...");
output_high(RUEDA);
while(!input(ENCODER)){}
output_low(RUEDA);
for(i=0;i<11;i++){
   while(input(ENCODER))
      output_high(RUEDA);
   while(!input(ENCODER)){}
      output_low(RUEDA);
      delay_ms(500);
}
ADELANTE;
ABRIR;
MENU=PRINCIPAL;
SALIR=0;
PROGRESO=0;
SETPOINT=195;
enable_interrupts(INT_RB);
```

3.5.3.3. Rutina del menú principal

Esta rutina muestra el menú principal en la interfaz de usuario y direcciona el programa hacia las siguientes rutinas dependiendo de la selección del operador.

```
                lcd_gotoxy(1,1);
                printf(lcd_putc,"TEMPLAR        ");
                lcd_gotoxy(1,2);
                printf(lcd_putc,"HARDWARE TEST  ");
                if(CURSOR==0){
                   lcd_gotoxy(16,1);
                   lcd_putc(0X7F);
                   lcd_gotoxy(16,2);
                   lcd_putc(' ');
                }
                else{
                   lcd_gotoxy(16,1);
                   lcd_putc(' ');
                   lcd_gotoxy(16,2);
                   lcd_putc(0X7F);
                }
                SALIR=0;
                while(input(PULS_UP)&&input(PULS_DOWN)&&!SALIR){
                   if(!input(PULS_ENTER)){
                      if(input(NO_HAY_TANQUE)){
                         lcd_gotoxy(1,1);
                         printf(lcd_putc,"  ** ERROR 2 **  ");
                         lcd_gotoxy(1,2);
                         printf(lcd_putc," PRESIONE ENTER ");
                         if(!input(EMERGENCIA)){
                            delay_ms(500);
                         parpadear(2);
                         pitar(1);}
                         output_low(LED_AMARILLO);
                         while(input(PULS_ENTER)){}
                         MENU=PRINCIPAL;
                         output_high(LED_AMARILLO);
                         delay_ms(500);
                      }else{
                      if(CURSOR==0)
                         MENU=TEMPLAR;
                      else
                         MENU=TEST;
                      goto delay;
                      }
                   }
                }
                if(!SALIR)
                   CURSOR=!CURSOR;
delay:          delay_ms(150);
                break;
```

3.5.3.4. Rutina de selección del número de resortes

Esta rutina permite al operador, a través de la interfaz de usuario, seleccionar el número de resortes que desea templar, entre un mínimo de 1 resortes y un máximo lote de 11 resortes que es la capacidad máxima de la rueda ranurada del alimentador. Si se desea templar más de 11 resortes se deberá realizar el proceso varias veces.

```
lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc," NUM. RESORTES: ");
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc,"              %u  ",NRESORTES);
while(!SALIR){
   if(!input(PULS_UP)&&(NRESORTES<MAXRESORTES)){
      NRESORTES++;
      SALIR=1;
   }
   if(!input(PULS_DOWN)&&(NRESORTES>1)){
      NRESORTES--;
      SALIR=1;
   }
   if(!input(PULS_ESC)){
      MENU=PRINCIPAL;
      SALIR=1;
   }
   if(!input(PULS_ENTER)){
      MENU=ALIMENTAR;
      CARGADOS=0;
      SALIR=1;
      RESTANTES_T=NRESORTES;
   }
   if(input(NO_HAY_TANQUE)){
      lcd_gotoxy(1,1);
      printf(lcd_putc,"  ** ERROR 2 **  ");
      lcd_gotoxy(1,2);
      printf(lcd_putc," PRESIONE ENTER ");
      if(!input(EMERGENCIA)){
         delay_ms(500);
      parpadear(2);
      output_low(LED_AMARILLO);
      pitar(1);}
      while(input(PULS_ENTER)){}
      output_high(LED_AMARILLO);
      delay_ms(500);
   }
   delay_ms(150);
}
SALIR=0;
break;
```

3.5.3.5. Rutina de carga de resortes

Esta rutina guía al operador a través del proceso de carga del alimentador, de modo que este sea llenado dos resortes a la vez, esta condición es necesaria pues la ventana de ingreso de los resortes en la parte superior de la rueda del alimentador permite únicamente la colocación de dos ejemplares. Cada vez que se ha cargado uno o dos resortes en el alimentador, el operador debe presionar la tecla ENTER que hará girar la rueda para continuar con la carga. Una vez que se ha cargado la cantidad de resortes solicitada por el operador la rueda girará hasta colocarse a un paso de soltar el primer resorte al plano inclinado y la rutina finalizará.

```
RESTANTES_C=NRESORTES-CARGADOS;

if(RESTANTES_C>=2)
   A_CARGAR=2;
else
   A_CARGAR=RESTANTES_C;


if(A_CARGAR>0){
   lcd_gotoxy(1,1);
   printf(lcd_putc,"   CARGUE %u Y   ",A_CARGAR);
   lcd_gotoxy(1,2);
   printf(lcd_putc," PRESIONE ENTER ");

   while(!SALIR){
      if(!input(PULS_ENTER)){
         lcd_gotoxy(1,1);
         printf(lcd_putc,"   ESPERE ...   ");
         lcd_gotoxy(1,2);
         printf(lcd_putc,"                ");
         for(i=0;i<A_CARGAR;i++){
            while(input(ENCODER))
               output_high(RUEDA);
            while(!input(ENCODER)){}
               output_low(RUEDA);
            if(!input(EMERGENCIA))
               delay_ms(500);
         }
         CARGADOS+=A_CARGAR;
         SALIR=1;
      }
      if(!input(PULS_ESC)){
         SALIR=1;
         MENU=PRINCIPAL;
      }
   }
   SALIR=0;
}else{
   MENU=TEMPLANDO;
   for(i=0;i<(11-NRESORTES);i++){
      while(input(ENCODER))
         output_high(RUEDA);
      while(!input(ENCODER)){}
         output_low(RUEDA);
      if(!input(EMERGENCIA))
         delay_ms(500);
      else
         i=11;
   }
}
SALIR=0;
delay_ms(150);
break;
```

3.5.3.6. Rutina de temple

Esta rutina se encarga de tomar los resortes desde el alimentador de uno en uno, sujetarlos con la pinza, colocarlos bajo el pirómetro, calentarlos y una vez que se ha alcanzado la temperatura de temple, soltarlos en el tanque de enfriamiento. En caso de que la pinza se cierre y no se detecte la presencia de un resorte, el sistema advertirá al operador mostrando un

mensaje de error y una alarma auditiva, al presionar la tecla ENTER el proceso podrá continuar. Además de su función principal de templar los resortes, esta rutina presenta en la interfaz de usuario la cantidad de resortes templados y una barra de progreso que permite visualizar con facilidad el avance del proceso de temple.

```
TEMPLADOS=0;
while(RESTANTES_T>0){
   lcd_gotoxy(1,1);
   printf(lcd_putc,"TEMPLADOS: %u/%u   ",TEMPLADOS,NRESORTES);
   PROGRESO=((float)TEMPLADOS/(float)NRESORTES)*16;
   lcd_gotoxy(1,2);
   printf(lcd_putc,"                ");
   lcd_gotoxy(1,2);
   for(i=0;i<(int8)PROGRESO;i++)
      lcd_putc(0XFF);
   if(!input(EMERGENCIA)){
       while(input(NO_HAY_TANQUE)){
         lcd_gotoxy(1,1);
         printf(lcd_putc,"  ** ERROR 2 **  ");
         lcd_gotoxy(1,2);
         printf(lcd_putc," PRESIONE ENTER ");
         if(!input(EMERGENCIA)){
            delay_ms(500);
         parpadear(2);
         output_low(LED_AMARILLO);
         pitar(1);}
         while(input(PULS_ENTER)){}
         output_high(LED_AMARILLO);
         delay_ms(150);
      }
      temple();
   }else
      break;

}
if(!input(EMERGENCIA)){
   SALIR=0;
   lcd_gotoxy(1,1);
   printf(lcd_putc,"TEMPLE TERMINADO");
   lcd_gotoxy(1,2);
   printf(lcd_putc," PRESIONE ENTER ");
   pitar(2);
   while(input(PULS_ENTER)){}
   MENU=PRINCIPAL;
   NRESORTES=1;
   delay_ms(150);
}
break;
```

```
void temple(void){
inicio:
   ATRAS_POCO;
   CERRAR;
   if(!input(EMERGENCIA)){
   while(input(ENCODER))
      output_high(RUEDA);
   while(!input(ENCODER)){}
   output_low(RUEDA);
   }
   if(!input(NO_HAY_TANQUE)){
      output_high(VIBRADOR);
      if(!input(EMERGENCIA))
         delay_ms(500);
      output_low(VIBRADOR);
      ABRIR;
      if(!input(EMERGENCIA))
         delay_ms(500);
      output_high(VIBRADOR);
      if(!input(EMERGENCIA))
         delay_ms(500);
      output_low(VIBRADOR);
      if(!input(EMERGENCIA))
         delay_ms(500);
      output_high(VIBRADOR);
      if(!input(EMERGENCIA))
         delay_ms(500);
      output_low(VIBRADOR);
      ADELANTE;
      if(!input(EMERGENCIA))
         delay_ms(500);
      CERRAR;
      if(!input(EMERGENCIA))
         delay_ms(1000);
      if(!input(EMERGENCIA)){
      if(input(NO_HAY_RESORTE)){
         lcd_gotoxy(1,1);
         printf(lcd_putc,"  ** ERROR 1 **  ");
         lcd_gotoxy(1,2);
         printf(lcd_putc," PRESIONE ENTER ");
         ABRIR;
         if(!input(EMERGENCIA)){
            delay_ms(500);
         parpadear(2);
         pitar(1);}
         output_low(LED_AMARILLO);
         while(input(PULS_ENTER)){
            if(input(EMERGENCIA))
            break;}
         output_high(LED_AMARILLO);
         lcd_gotoxy(1,1);
         printf(lcd_putc,"TEMPLADOS: %u/%u   ",TEMPLADOS,NRESORTES);
         PROGRESO=((float)TEMPLADOS/(float)NRESORTES)*16;
         lcd_gotoxy(1,2);
         printf(lcd_putc,"                ");
         lcd_gotoxy(1,2);
         for(i=0;i<(int8)PROGRESO;i++)
            lcd_putc(0XFF);
         goto inicio;
      }
      }
      ATRAS;
      if(!input(EMERGENCIA))
         delay_ms(1000);
      set_adc_channel(0);
      delay_us(30);
      output_high(PINZA);
      temperatura=0;
      while(temperatura<setpoint){
         ADC=read_adc();
         temperatura=1.52*(float)ADC+165;
         if(input(EMERGENCIA))
            break;
      }
      output_low(PINZA);
      ABRIR;
      if(!input(EMERGENCIA))
         delay_ms(500);
      ADELANTE;
      TEMPLADOS++;
      RESTANTES_T=NRESORTES-TEMPLADOS;
      COMPROBAR_TEMP();
   }else{
      lcd_gotoxy(1,1);
      printf(lcd_putc,"  ** ERROR 2 **  ");
      lcd_gotoxy(1,2);
      printf(lcd_putc," PRESIONE ENTER ");
      if(!input(EMERGENCIA)){
         delay_ms(500);
      parpadear(2);
      pitar(1);}
      output_low(LED_AMARILLO);
      while(input(PULS_ENTER)){}
      MENU=PRINCIPAL;
      output_high(LED_AMARILLO);
      delay_ms(150);
   }
}
```

3.5.3.7. Rutina de test de hardware

Esta rutina está encargada de probar de uno en uno todos los elementos del sistema eléctrico del equipo, de manera que el operador pueda detectar fácilmente el origen de una falla en su funcionamiento. Para comenzar esta rutina el tanque de enfriamiento debe estar colocado en su lugar de trabajo.

```
lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc," HARDWARE  TEST ");
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc,"PROBANDO BUZZER ");
for(i=0;i<4;i++){
   output_toggle(BUZZER);
   delay_ms(400);
}
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc,"PROBANDO LUZ E  ");
for(i=0;i<4;i++){
   output_toggle(LED_ROJO);
   delay_ms(400);
}
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc,"PROBANDO LUZ A  ");
for(i=0;i<4;i++){
   output_toggle(LED_AMARILLO);
   delay_ms(400);
}
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc,"PROBANDO VIBRAR ");
for(i=0;i<4;i++){
   output_toggle(VIBRADOR);
   delay_ms(400);
}
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc,"PROBANDO RUEDA  ");

for(i=0;i<3;i++){
   while(input(ENCODER))
      output_high(RUEDA);
   while(!input(ENCODER)){}
      output_low(RUEDA);
      delay_ms(500);
}

lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc,"PULSAR ARRIBA   ");
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc,"                ");
while(input(PULS_UP)){}
lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc,"PULSAR ABAJO    ");
while(input(PULS_DOWN)){}
lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc,"PULSAR ENTER    ");
while(input(PULS_ENTER)){}
lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc,"PULSAR ESCAPE   ");
lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc,"PULSAR Y SOLTAR ");
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc,"EMERGENCIA      ");
while(!input(EMERGENCIA)){delay_ms(150);}
while(input(EMERGENCIA)){}
lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc,"RETIRE Y COLOQUE");
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc,"   EL TANQUE    ");
while(!input(NO_HAY_TANQUE)){delay_ms(150);}
while(input(NO_HAY_TANQUE)){}
lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc,"PROBANDO SERVO  ");
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc,"PINZA           ");
ABRIR;
delay_ms(500);
CERRAR;
delay_ms(500);
lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc,"PROBANDO SERVO  ");
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc,"CARRO           ");
ADELANTE;
delay_ms(1000);
ATRAS;
delay_ms(1000);
lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc,"TEST  COMPLETADO");
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc,"                ");
delay_ms(1500);
MENU=PRINCIPAL;
SALIR=0;
ADELANTE;
ABRIR;
break;
```

3.5.3.8. Rutina de emergencia

Esta rutina se activa en cualquier momento si se presiona el switch de emergencia de la interfaz de usuario, su función es detener cualquier rutina que se estuviera ejecutando en ese momento, desactivar todas las salidas del sistema y soltar cualquier resorte que se pudiera encontrar en la pinza. Mientras esta rutina se encuentre en ejecución, la interfaz alertará al

operador de la situación mediante alarmas tanto visual como auditiva intermitentes. La única forma de salir de esta rutina es soltando el switch de emergencia.

```
lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc,"  EMERGENCIA!!  ");
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc,"                ");
output_high(LED_ROJO);
output_high(LED_AMARILLO);
output_low(BUZZER);
output_low(VIBRADOR);
output_low(RUEDA);
output_low(PINZA);
CURSOR=0;
ABRIR;
ATRAS;
NRESORTES=1;
CARGADOS=0;
RESTANTES_C=0;
TEMPLADOS=0;
while(input(EMERGENCIA)){
   output_low(LED_ROJO);
   output_high(BUZZER);
   delay_ms(600);
   output_high(LED_ROJO);
   output_low(BUZZER);
   delay_ms(600);
   output_low(VIBRADOR);
   output_low(RUEDA);
   output_low(PINZA);
   CURSOR=0;
}
MENU=PRINCIPAL;
ADELANTE;
SALIR=0;
break;
```

3.5.3.9. Interrupciones

Se han configurado en el firmware del equipo dos interrupciones, la primera es la interrupción de desbordamiento del TIMER2, que permite manejar las señales PWM que maniobran los servomotores de la pinza y la segunda es la interrupción de cambio de estado del pin de entrada asignado al switch de emergencia. Se ha utilizado interrupciones para estas aplicaciones pues su ejecución tiene prioridad sobre el resto del programa ya que una desincronización de las señales PWM ocasionaría movimientos anormales en los motores y en el caso del switch de emergencia, su acción debe ser inmediata e independiente del resto del programa.

```
void  TIMER2_isr(void)
{
   CONT++;
   if(CONT==10){
      output_high(SERVO_PINZA);
      output_high(SERVO_CARRO);
      if(T1<T2){
         dT=T2-T1;
         delay_us(T1);
         output_low(SERVO_PINZA);
         delay_us(dT);
         output_low(SERVO_CARRO);
      }else if(T1>T2){
         dT=T1-T2;
         delay_us(T2);
         output_low(SERVO_CARRO);
         delay_us(dT);
         output_low(SERVO_PINZA);
      }else{
         delay_us(T2);
         output_low(SERVO_CARRO);
         output_low(SERVO_PINZA);
      }
      CONT=0;
   }
}

#use delay(clock=4000000)
#int_RB
void  RB_isr(void)
{
   ADC=input_b();
   CURSOR=0;
   MENU=EN_EMERGENCIA;
   SALIR=1;

}
```

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE COSTOS

En la elaboración del proyecto se analizó previamente las diferentes opciones de solución, teniendo como uno de los parámetros de selección el factor económico. Para cada opción se vio las ventajas y desventajas versus su costo de implementación, para tener una clara relación de costo beneficio de cada posible solución. Finalmente se observó que la opción escogida fue una de las más convenientes en costo de implementación. Los gastos se detallan en las tablas 21, 22, 23:

4.1. Materiales Mecánicos

Ítem	Cantidad	Descripción	Valor UNI	Valor TOTAL
1	1	Lámina de tol negro de 0.9mm (2400 x 1200)	25	25
2	1	Lámina de Tol INOX 0.75mm (600 x 500)	9	9
3	2	Bloques Grylon Negro (150 x 250)	14	28
4	1	Eje 1/2" (50)	3	3
5	50	pernos M3+ arandela + tuerca	0,09	4,5
6	1	Trabajo Torno	25	25
7	1	Trabajo Fresa	45	45
8	1	Trabajo Soldadura	18	18
9	1	Sistema de Engrane y Cadena	14	14
10	1	Pintura Electrostática	12,20	12,20
TOTAL				183,7

Tabla 21. Gastos Material Mecánico

4.2. Materiales Eléctricos

Item	Cantidad	Descripción	Valor UNI	Valor TOTAL
1	1	Fusiblera + Fusible 25A	2,25	2,25
2	1	Switch ON / OFF 25A	1,2	1,2
3	15	metros de cable 20 AWG Flex	0,62	9,3
4	3	Servo Motores HI-TECH HS31	16	48
5	1	Ventilador 12V	1,45	1,45
6	14	Conectores multiples	0,85	11,9
7	1	Microswitch 10A	1,65	1,65
8	1	LM35	3,5	3,5
9	1	LCD 16x2	12	12
10	4	Pulsadores NO 10A	1,25	5
11	1	Pulsador con enclavamiento rojo	1	1
12	1	Sensor óptico trans/recep IR	1,22	1,22
13	1	Sensor pirómetro OMEGA IR	198	198
14	1	Baquelita + Varios Elementos	22	22
TOTAL				318,47

Tabla 22. Gastos Material Eléctrico

4.3. Costos Totales

Además de los rubros mencionados de gastos mecánicos y eléctricos se debe anexar los costos de horas hombre empleados en el desarrollo del proyecto teniendo un total de costo del proyecto que se detalla en la siguiente tabla:

Ítem	Descripción	COSTO
1	GASTO MECÁNICO	183,5
2	GASTO ELÉCTRICO	318,47
3	HORAS HOMBRE	350
	TOTAL	851,97

Tabla 23. Total Gastos

CAPITULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

Una vez culminada la fabricación de la máquina, es importante evaluar la confiabilidad y la calidad de los resortes templados, para posteriormente comparar con los datos obtenidos del temple artesanal, para esto se operará la maquina con pruebas continuas respetando todas las sugerencias y condiciones de funcionamiento que se indica en el manual de usuario (ANEXO M1). Inicialmente se realizará una prueba de confiabilidad, templando varios lotes de resortes para cuantificar cuantas piezas culminan el proceso con un resultado exitoso. Se realizó seis pruebas de lotes de 11 resortes obteniendo el siguiente resultado:

Lote	Resortes Templados	No culminaron el proceso	Mal templados
1	11	0	0
2	10	1	0
3	11	0	0
4	11	0	0
5	11	0	0
6	11	0	0

Tabla 24. Tabla de Resultados de confiabilidad

La tabla 24 indica la alta confiabilidad de la maquina en un funcionamiento continuo. De forma global se analiza los resortes que culminan el proceso y por inspección visual se observa el correcto estado de los resortes de cada lote.

Para obtener un juzgamiento de las características físicas que se alteraron en el proceso del temple con la máquina, se realizara la medición de la constante de elasticidad de cada resorte en una muestra de 20 resortes. Igual número de muestras tomadas en el proceso de temple artesanal para realizar una comparación de uniformidad y mejoramiento de estos 20 resortes. Finalmente se utilizará la herramienta estadística de desviación estándar para observar la uniformidad e implícitamente la confiabilidad de resultados en términos de características físicas de los resortes.

En la tabla 25 y 26 se muestra las constantes de elasticidad de los resortes antes de templar y templados en la máquina automática.

Resortes sin Templar

N° Resorte	Deformación x (mm)	Fuerza F (N)	Cte. De Rigidez k (N/m)
1	14	19,6	1400
2	15	19,6	1306,6
3	14	19,6	1400
4	13	19,6	1507,6
5	14	19,6	1400
6	12	19,6	1633,3
7	13	19,6	1507,6
8	14	19,6	1400
9	12	19,6	1633,3
10	13	19,6	1507,6
11	14	19,6	1400
12	13	19,6	1507,6
13	12	19,6	1633,3
14	13	19,6	1507,6
15	13	19,6	1507,6
16	14	19,6	1400
17	15	19,6	1306,6
18	13	19,6	1507,6
19	15	19,6	1306,6
20	12	19,6	1633,3

Tabla 25. Parámetros de resortes sin templar

Resortes Templados

N° Resorte	Deformación x (mm)	Fuerza F (N)	Cte. De Rigidez k (N/m)
1	11	19,6	1781,8
2	12	19,6	1633,3
3	10	19,6	1960
4	10	19,6	1960
5	11	19,6	1781,8
6	10	19,6	1960
7	10	19,6	1960
8	11	19,6	1781,8
9	10	19,6	1960
10	11	19,6	1781,8
11	12	19,6	1633,3
12	11	19,6	1781,8
13	10	19,6	1960
14	11	19,6	1781,8
15	10	19,6	1960
16	11	19,6	1781,8
17	12	19,6	1633,3
18	11	19,6	1781,8
19	12	19,6	1633,3
20	10	19,6	1960

Tabla 26. Parámetros de resortes realizado el templado con la máquina

Considerando los datos extraídos de experimento detallados en las tablas anteriores, se concluye que en promedio la constante de elasticidad de los resortes sin tratamiento térmico es

de 1470,31 N/m, y de los resortes ya realizados el tratamiento térmico es de 1823,38 N/m. Esto muestra el mejoramiento en rendimiento de los resortes aproximadamente en un 24,01%, Este valor es superior aproximadamente en un 10% respecto a los resultados del proceso artesanal estudiado anteriormente, esto se debe a que no existen resortes que hayan empeorado sus características con el temple, caso que si se daba con el temple manual. Calculando, la desviación estándar es de 127,05 N/m. Este valor nos muestra una mejora considerable a la extraída del temple artesanal, ya que con la disminución de la desviación estándar nos damos cuenta que los valores de la muestra son más uniformes y menos dispersos. Esto quiere decir que se consiguió una mayor confiabilidad en los resultados logrando un buen promedio de características físicas de los resortes. Además de ser aprobados por el personal técnico de la empresa.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. 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 proyecto. 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.

- Debido al incremento de la eficiencia del proceso, el tiempo que toma el mismo se ha reducido en un 10%, se ha eliminado el periodo de calibración del equipo y por estas razones la productividad en la fase de temple de resortes se ha incrementado sustancialmente.

6.2. Recomendaciones

El equipo construido fue diseñado para trabajar de manera confiable en toda situación, sin embargo, existen varias recomendaciones para su óptimo desempeño; las más importantes se mencionan a continuación:

- El equipo debe instalarse en un lugar ventilado que permita la salida de los gases generados al calentar el material del resorte; esto evitará problemas de salud en los operadores y generará un ambiente de trabajo más agradable.

- Debe existir una fuente de agua corriente cerca del lugar de instalación del equipo, pues el agua que se utiliza para enfriar los resortes se calentará si se procesan muchos

ejemplares, en tal situación, el equipo advertirá al operador de este problema de manera que el mismo pueda cambiar el agua oportunamente.

- Los contactos eléctricos de la pinza servo-controlada que sujeta los resortes deben mantenerse limpios en todo momento, esto garantizará su conductividad lo cual redunda en un funcionamiento confiable del equipo.

- De preferencia, el equipo debe instalarse lejos de fuentes de ruido eléctrico excesivo como maquinaria de corte y soldadura por arco eléctrico, el tipo de perturbaciones producidas por estos equipos puede afectar e incluso dañar definitivamente la electrónica del sistema.

- El sistema automático de alimentación de resortes depende de un plano inclinado que lleva los mismos hacia la etapa de calentamiento. Es por esto que se requiere instalar el equipo sobre una superficie nivelada.

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

- **Industrial Instrumentation Fundamentals**, Fibrance, Austin E., Mc. Graw Hill Company, Nueva York, 1962.
- **Instrumentation for Engineering Measurements**, Dally, James W., John Wiley & Sons, Nueva York, 1984.
- **Mechanical Measurement**, Beckwith, Thomas G., Addison-Wesley Pub Co., 3a Edición, 1982.
- **Instrumentación Industrial**, Creus, Antonio, Publicaciones Marcombo, Mexico, 1981.
- **Tratamientos Térmicos de los aceros,** José Apraiz Barreiro, Dossat, 8va Edición, 1968

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procesos de Tratamiento Térmico 7
Figura 2. Duración total de calentamiento vs diámetro de la pieza 10
Figura 3. Diferencias de estructuras cristalinas 11
Figura 4. Comparación de velocidades de enfriamiento 11
Figura 5. Histéresis en un controlador ON-OFF 22
Figura 6. Control ON-OFF con histéresis 22
Figura 7. Espectro electromagnético 24
Figura 8. Superficie altamente reflectiva 25
Figura 9. Superficie poco reflectiva 25
Figura 10. Forma de operación de un pirómetro de radiación 27
Figura 11. Resorte en el seguro del tambor del revólver 29
Figura 12. Resorte en el recuperador del martillo del revólver 29
Figura 13. Variac y placa utilizados para el temple artesanal 30
Figura 14. Pinza y Tanque de enfriamiento para el temple artesanal 31
Figura 15. Proceso de temple artesanal 32
Figura 16. Cambio de color del resorte templado 32
Figura 17. Respuesta del sistema de control 37
Figura 18. Ley de Hooke – parámetros de los resortes 40
Figura 19. Dinamómetro acoplado con un dispositivo de medición de distancia en mm 41
Figura 20. Inicio de medida con el resorte sin deformación 41
Figura 21. Toma de medida de fuerza con 15mm de deformación 41
Figura 22. Subsistemas mecánicos de la máquina 48
Figura 23. Sistema Mecánico de Alimentación 49
Figura 24. Sistema de Sujeción y Calentamiento 51
Figura 25. Sistema de Enfriamiento 52
Figura 26. Ensamble de la máquina 53
Figura 27. Diagrama de bloques Sistema Eléctrico 54
Figura 28. Vibrador 57
Figura 29. Servomotor HITECH HS-311 58
Figura 30. Sensor Pirométrico OMEGA 59
Figura 31. Relé Songle 10A 62
Figura 32. Microswitch de detección de tanque 63
Figura 33. Display LCD 16x2 65
Figura 34. Pulsadores de Navegación 66
Figura 35. Switch de Emergencia 67

Figura 36. Leds Indicadores de Estado 67
Figura 37. Arquitectura de Hardware 73
Figura 38. Configuración pulsadores y switches 74
Figura 39. Configuración Encoder 75
Figura 40. Conexión circuito detección de resortes 76
Figura 41. Conexión Sensor Pirométrico 77
Figura 42. Conexión Sensor de temperatura LM35 78
Figura 43. Conexión LCD 78
Figura 44. Conexión LEDS 79
Figura 45. Conexión Servomotores 79
Figura 46. Conexión motor rueda ranurada 80
Figura 47. Conexión Vibrador 81
Figura 48. Distribucion de componentes 83
Figura 49. Cara superior 83
Figura 50. Cara inferior 84
Figura 51. Circuito Impreso 84
Figura 52. Diagrama Rutina Principal 86
Figura 53. Rutina Inicialización del Equipo 87
Figura 54. Rutina Menú Principal 88
Figura 55. Rutina Test de Hardware 89
Figura 56. Rutina Selección de Número de Resortes 90
Figura 57. Rutina de Carga de Resortes 91
Figura 58. Rutina de Temple 92
Figura 59. Rutina de Emergencia 93

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Temperatura recomendada para el temple de aceros al carbono 9
Tabla 2. Velocidades de Enfriamiento en Agua 14
Tabla 3. Velocidades de Enfriamiento en Aceite 15
Tabla 4. Medios de enfriamiento para el proceso del temple 16
Tabla 5. Medios de Enfriamiento vs Velocidades Relativas de Enfriamiento 16
Tabla 6. Comparación de tipos de sensores de temperatura 39
Tabla 7. Parámetros de resortes sin templar 42
Tabla 8. Parámetros de resortes realizado el templado artesanal 43
Tabla 9. Motor de la Rueda de Alimentación 55
Tabla 10. Características del Encoder 56
Tabla 11. Características del Vibrador 57
Tabla 12. Características servomotor HS-311 59
Tabla 13. Características Sensor Pirométrico 60
Tabla 14. Características Relé Songle 10A 62
Tabla 15. Características del Microswitch 64
Tabla 16. Especificaciones del Sensor de temperatura del tanque 65
Tabla 17. Características LCD 16x2 66
Tabla 18. Características del Microcontrolador 69
Tabla 19. Asignación de Entradas y Salidas en el Microcontrolador 70
Tabla 20. Características Fuente de Energía 71
Tabla 21. Gastos Material Mecánico 104
Tabla 22. Gastos Material Eléctrico 105
Tabla 23. Total Gastos 106
Tabla 24. Tabla de Resultados de confiabilidad 107
Tabla 25. Parámetros de resortes sin templar 108
Tabla 26. Parámetros de resortes realizado el templado con la máquina 109

GLOSARIO

Velocidad crítica: Mínima velocidad de enfriamiento en °C/seg, a la cual se consigue el resultado deseado del tratamiento térmico, característica intrínseca de cada material.

Temperatura de austenización: También conocida como temperatura crítica superior, es la temperatura a la que todo el material se convierte en austenita.

Austenita: Estructura cristalina del acero obtenida a temperaturas superiores o iguales a la temperatura critica.

Martensita: Estructura cristalina del acero obtenida del proceso del temple.

Sorbita: Estructura cristalina del acero obtenida del proceso de normalizado.

Trostita: Estructura cristalina del acero obtenida del proceso del recocido.

Estado Austenítico: Estado del acero en el que todo el volumen de la pieza se encuentra formado por cristales de austenita.

RC: Unidad de medición de la dureza de los materiales.

Cuerpo negro: Cuerpo ideal que absorbe el 100% de la radiación que incide sobre sí.