

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Ingeniería Mecánica Automotriz

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE TEMPLE POR INDUCCIÓN

Realizado por:

DANIEL ALEXANDER AGUILAR CIFUENTES

Director del proyecto: Ing. Jaime Vinicio Molina Osejos.

Quito, 08 de marzo de 2022

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:
daguilan.mec@uisek.edu.ec

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, Daniel Alexander Aguilar Cifuentes, con cédula de identidad # 1727200535, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Daniel Alexander Aguilar Cifuentes
C.I: 1727200535

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a todas las personas que estuvieron a mi lado en todo lo que represento este camino hasta convertirme en un profesional, a mis padres Daniel y Sandra, a mi hermano Marcelo y mis abuelos además de todos los compañeros de la facultad les dedico este logro académico.

AGRADECIMIENTO

Agradezco de todo corazón:

A todos los docentes que en verdad pusieron su alma y mejor empeño para poder formar a los profesionales del mañana gracias a todo su conocimiento y amistad se logró esta meta y formarme como profesional y como ser humano.

Índice

Resumen..... 4

Abstract..... 5

Planteamiento del problema 9

Hipótesis..... 11

Objetivo General..... 11

Objetivos Específicos 11

Resultados 61

Análisis de los resultados..... 72

Conclusiones 81

Recomendaciones 82

Lista de Figuras

Figura N°1 Tipos de Tratamientos Térmicos 12

Figura N°2 Fases del Acero 13

Figura N°3 Campo Magnético Alterno 14

Figura N°4 Diagrama de Flujo del Proceso de Diseño 18

Figura N°5 Horno de Inducción..... 21

Figura N°6 Dispositivo Inductor con Soldadora..... 22

Figura N°7 Temple por Láser 24

Figura N°8 Bobina de Forma Helicoidal..... 30

Figura N°9 Placa Arduino 31

Figura N°10 Termocupla Maxx6675..... 32

Figura N°11 Pantalla Lcd 16x2 33

Figura N°12 Circuito Tanque 33

Figura N°13 Soldadora Invert IW200BV..... 34

Figura N°14	<i>Transformador Toroidal de la Soldadora</i>	35
Figura N°15	<i>Proceso de la Frecuencia de Trabajo de una Soldadora Invert</i>	38
Figura N°16	<i>Conexión del Banco de Capacitores</i>	40
Figura N°17	<i>Conexión del Banco de Capacitores</i>	40
Figura N°18	<i>Conexión del Dispositivo Electrónico.</i>	41
Figura N°19	<i>Relación a Considerar Entre el Diámetro y la Longitud de la Bobina</i> .	43
Figura N°20	<i>Relación entre el Diámetro del Alambre y el Espacio entre cada Espira</i> 43	
Figura N°21	<i>Software Coil32V Valor de la Inductancia Bobina Ø 27mm</i>	45
Figura N°22	<i>Software Coil32V Valor de las Características de Construcción de la Bobina de Ø 27mm</i>	45
Figura N°23	<i>Diagrama TTT del Acero AISI 705</i>	53
Figura N°24	<i>Diagrama TTT del Acero AISI 1018 y AISI 1020</i>	54
Figura N°25	<i>Prototipo Construido</i>	55
Figura N°26	<i>Calentamiento por Inducción de las Piezas Metálicas</i>	56

Figura N°27	<i>Escala de Dureza Rockwell</i>	57
Figura N°28	<i>Zonas en Donde se Midió la Dureza.</i>	58
Figura N°29	<i>Máquina para Ensayos de Dureza Rockwell.</i>	58
Figura N°30	<i>Esmerilado de las Piezas</i>	59
Figura N°31	<i>Pulido de las Piezas</i>	60
Figura N°32	<i>Ácido nítrico al 68%</i>	61
Figura N°33	<i>Imagen X10 del Acero AISI 1020 sin Tratamiento Térmico.</i>	67
Figura N°34	<i>Imagen X10 del Acero AISI 1020 Calentado por 2min y Enfriado por Agua.</i>	68
Figura N°35	<i>Imagen X10 del Acero AISI 1018 sin Tratamiento Térmico.</i>	68
Figura N°36	<i>Imagen X10 del Acero AISI 1018 Calentado por 2min y Enfriado por Agua.</i>	69
Figura N°37	<i>Imagen X10 del Acero AISI 1018 Calentado por 2min y Enfriado por Aceite</i>	70
Figura N°38	<i>Imagen X20 del Acero AISI 705 sin Tratamiento Térmico.</i>	70

Figura N°39	<i>Imagen X20 del Acero AISI 705 Calentado por 2min y Enfriado por agua.</i>	71
Figura N°40	<i>Análisis de los Valores del Campo Magnético del Toroide</i>	72
Figura N°41	<i>Análisis de los Valores del Campo Magnético de la Bobina.....</i>	73
Figura N°42	<i>Análisis de la Densidad de la Energía Almacenada en el Inductor.</i>	74
Figura N°43	<i>Análisis de la Potencia Disipada por la Bobina</i>	75
Figura N°44	<i>Prueba de Funcionamiento de la Máquina en 110V</i>	76
Figura N°45	<i>Prueba de Funcionamiento de la Máquina en 220V</i>	76
Figura N°46	<i>Análisis de la Disipación de la Energía en Función del Tiempo</i>	77
Figura N°47	<i>Prueba de Temperatura vs Tiempo</i>	78

Lista de Tablas

Tabla N°1 *Matriz de Toma de Decisiones* 28

Tabla N°2 *Características del Alambre de Cobre* 30

Tabla N°3 *Características de la Termocupla Maxx6675*..... 32

Tabla N°4 *Características de la Soldadora Inverter* 34

Tabla N°5 *Características del Transformador Toroidal*..... 36

Tabla N°6 *Frecuencia vs Penetración* 39

Tabla N°7 *Composición Química del Acero AISI 705* 50

Tabla N°8 *Propiedades Mecánicas del AISI 705* 51

Tabla N°9 *Composición Química del Acero AISI 1018* 51

Tabla N°10 *Propiedades Mecánicas del AISI 1018*..... 52

Tabla N°11 *Composición Química del Acero AISI 1020* 52

Tabla N°12 *Propiedades Mecánicas del AISI 1020* 52

Tabla N°13 *Parámetros de Diseño de la Bobina de 27Ø*..... 61

Tabla N°14	<i>Campo Magnético del Toroide.....</i>	62
Tabla N°15	<i>Campo Magnético de la Bobina</i>	63
Tabla N°16	<i>Densidad de la Energía Almacenada en el Inductor</i>	63
Tabla N°17	<i>Energía del Inductor</i>	63
Tabla N°18	<i>Resistencia Total del Alambre</i>	64
Tabla N°19	<i>Potencia Disipada por la Bobina</i>	64
Tabla N°20	<i>Energía Disipada por la Bobina</i>	64
Tabla N°21	<i>Prueba de Dureza del Acero AISI 1020 sin Templar</i>	65
Tabla N°22	<i>Prueba de Dureza del Acero AISI 1020 Aplicado Tratamiento Térmico</i>	65
Tabla N°23	<i>Prueba de Dureza del Acero AISI 1018 sin Templar</i>	66
Tabla N°24	<i>Prueba de dureza de Acero AISI 1018 Aplicado Tratamiento Térmico .</i>	66
Tabla N°25	<i>Prueba de dureza de Acero AISI 1018 Aplicado Tratamiento Térmico .</i>	66
Tabla N°26	<i>Prueba de Dureza de Acero AISI 705</i>	67
Tabla N°27	<i>Análisis de los Resultados de Dureza del AISI 1020.</i>	78

Tabla N°28 *Análisis de los Resultados de Dureza del AISI 1018.* **78**

Tabla N°29 *Análisis Metalográfico del Acero AISI 1020 Calentado por 2min y Enfriado por Agua.* **79**

Tabla N°30 *Análisis Metalográfico del Acero AISI 1018 Calentado por 2min y Enfriado por Agua y Aceite.* **79**

Tabla N°31
Análisis Metalográfico del Acero AISI 705 Calentado por 2min y Enfriado por agua **80**

Resumen

En el mundo, el calentamiento global se ha convertido en uno de los principales problemas debido a los gases de invernadero, muchos de estos gases son generados por las fábricas y talleres metalúrgicos que usan métodos tradicionales de tratamiento térmico como lo son el temple por flama. Una alternativa que se ha presentado es el temple por inducción, el cual es un método que usa la electricidad así como el magnetismo en procesos industriales tales como tratamientos térmicos en metales, y en tratamientos superficiales en los aceros aleados de forma eficiente, permitiendo de esta forma minimizar los costos de producción en las fábricas metalúrgicas mejorando de forma considerable la productividad y condiciones de trabajo. El objetivo de este estudio es evaluar si el calentamiento por inducción mejorara el proceso de templado superficial en los aceros aleados de forma óptima y segura dejando de lado las practicas obsoletas como el calentamiento por flama. El dispositivo diseñado y fabricado buscara realizar un temple superficial por inducción en piezas de acero de medio y bajo contenido de carbono. Para la obtención de datos se utilizara una termocupla tipo K para censar la temperatura en tiempo real del dispositivo además se realizará una serie de análisis metalográficos y de dureza Rockwell para corroborar que las piezas de acero fueron templadas con éxito. En las pruebas realizadas, se obtuvo un incremento de dureza del 3% en el uso de probetas cilíndricas de acero AISI 1018 y AISI 1020, además que se obtuvo mejores resultados usando agua y aceite en comparación con el aire como métodos de enfriamiento de las probetas y con un tiempo de calentamiento que fue variando entre 1min, 1:30 min y 2min en cada prueba.

Palabras clave: temple por inducción, temple superficial, análisis metalográfico, ensayos de dureza Rockwell.

Abstract

In the world, global warming has become one of the main problems due to greenhouse gases, many of these gases are generated by factories and metallurgical workshops that use traditional heat treatment methods such as flame hardening. An alternative that has been presented is induction hardening, which is a method that uses electricity as well as magnetism in industrial processes such as heat treatment of metals and surface treatment of alloy steels in an efficient way, thus minimizing production costs in metallurgical factories and considerably improving productivity and working conditions. The objective of this study is to evaluate if the induction hardening method will improve the surface hardening process in alloy steels optimally and safely, leaving aside obsolete practices such as flame heating. The device designed and fabricated will seek to perform induction surface hardening on medium and low carbon metal parts. To obtain data, a K-type thermocouple will be used to censor the temperature in real-time of the device, in addition to using metallographic and Rockwell hardness analysis methods to corroborate that the metal parts were successfully hardened. In the tests performed, the following results were obtained 3% increase in hardness in the use of AISI 1018 and AISI 1020 steel cylindrical specimens, In addition, better results were obtained using water and oil compared to air as methods of cooling the specimens and with a heating time that varied between 1 min, 1:30 min and 2 min in each test.

Keywords: induction hardening, surface hardening, metallographic analysis, Rockwell hardness tests.

Introducción

Antiguamente la obtención de calor por causa de la inducción era considerada como un fenómeno indeseable en la mayoría de máquinas. Sin embargo esto cambia en el momento en el cual se empieza a estudiar las corrientes parasitas inducidas por los campos electromagnéticos que varían en el tiempo, el nombre que se le dio a estas corrientes parasitas fueron las corrientes parasitas de Foucault y el uso que se podía dar a este calor producido por la corriente alterna a mayor frecuencia de trabajo.

A partir de este hallazgo se empieza a desarrollar sistemas basados en el aprovechamiento de este fenómeno, comenzando de esta manera el uso del calentamiento inductivo.

En el año 1887 Ferrati realizó la primera aplicación industrial de este fenómeno en el área de fundición de metal usando un transformador con un embobinado primario en el cual aplicaba una corriente alterna a 50Hz(*Universidad Autónoma de Nuevo León, 2016*).

Este hallazgo abrió el camino a un sin número de aplicaciones del calentamiento por inducción en diversas áreas del mundo industrial dando alternativas energéticas a las industrias para realizar varios procesos de manufactura.

Los tratamientos térmicos en los aceros aleados adquieren día con día una mayor importancia, sobre todo por el momento histórico que vive la industria Metal-Mecánica al incorporarse el Tratado del Libre Comercio (TLC) (*Perez, 1996*).

En el momento en el este nuevo mercado se abre se empieza a abrir nuevas posibilidades económicas para los países que innovan en este nuevo tipo de electrotecnologías, la aplicación de calentamiento por inducción puede traer grandes beneficios en los talleres por la fácil automatización y control de los ciclos de trabajo en los

procesos de manufactura.

En el Ecuador, existe una gran preocupación por parte del Gobierno por el modelo energético actual, el cual tiene como base el uso desmedido de los combustibles fósiles. La creación de un nuevo módulo energético implica soluciones innovadoras para sustituir el consumo de combustibles fósiles que se usa en el país actualmente (Guamán et al., 2015).

El calentamiento por inducción en la actualidad es un método que no ha sido explotado en su totalidad a nivel nacional ya que no ha existido interés por las empresas en desarrollar y aplicar sistemas de dispositivos inductivos aplicados a nivel industrial.

En este sentido, se considera de especial interés realizar investigaciones relacionadas con los avances tecnológicos de los sistemas de calentamiento por inducción magnética. Para la generación de calor en el proceso de temple superficial, existen algunas técnicas fundamentales que se basan en el uso de la electricidad o en la quema de combustibles fósiles y uso de gases que son las que principalmente se usan en el Ecuador en la industria metalmeccánica causando emisión de gases nocivos para el medio ambiente.

Un ejemplo del método más usado a nivel nacional es el tratamiento térmico por flama que aumenta el riesgo laboral por quemaduras o exposición a los equipos de trabajo, además de la emanación de gases tóxicos al medio ambiente (Barreiro 1949).

El calentamiento por flama actualmente no es la mejor opción ya que muestra varias desventajas como son los problemas de focos de sobrecalentamiento dañando las piezas de trabajo, manejo incorrecto de la potencia de los quemadores y riesgos laborales por quemaduras.

Una solución viable para evitar el uso del temple por flama es la inducción electromagnética la cual genera calor controlable, localizado e intenso y no necesita de

contacto físico con la pieza o material al momento de templar (Rodriguez et al., 2015).

Además el calentamiento por inducción posee varias ventajas en comparación con el calentamiento por flama a nivel industrial ya que necesita menores tiempos de trabajo aumentando de este modo el nivel de producción y reducción de costos laborales, es amigable con el planeta ya que no emana gases tóxicos.

El calentamiento por inducción se da gracias a la ley de Joule la cual dicta que todos los materiales conductores de electricidad crean resistencia al flujo de las cargas eléctricas, esa resistencia crea un cambio de energía eléctrica en energía térmica (Baltazar 2014).

En otras palabras el calentamiento por inducción toma la corriente de la red, la convierte en frecuencias adecuadas para aplicaciones específicas, y a continuación la usa para crear calor controlable en cualquier material conductor.

El incremento de temperatura se da al someter un material a un campo magnético de amplitud notable y variable en el tiempo para aprovechar así el impacto de potencia en el conductor, que se crea por las corrientes de Foucault (WINDER, 2008).

Con la inducción electromagnética es posible trabajar sobre un área determinada del objeto a ser calentado siempre y cuando este sea ferromagnético manteniéndose en un rango considerable de temperatura de esta manera se calienta un definido metal y de esta forma darle una superficie plenamente rígida que resista al desgaste por fricción.

En el estudio se analizara la dependencia funcional entre la frecuencia y la profundidad de penetración sobre el área en la cual se vaya a trabajar, para el calentador de inducción electromagnética con sus diferentes variables y parámetros geométricos, son motivo del estudio y del análisis al instante de diseñar un modelo y este cumpla de forma eficiencia.

Con el desarrollo de este proyecto de investigación se aportará con un procedimiento innovador en los procesos de manufactura para los talleres metalmecánicos, generando un tratamiento superficial en aceros aleados dejando de usar procedimientos convencionales como el calentamiento por flama.

Este sistema de temple por inducción ayudará al abastecimiento de calor en forma inmediata, con ausencia de contacto físico con las piezas en cuestión, generación del calentamiento en el sitio solicitado, ausencia de pérdidas en transferencias calóricas, limpia, y eficiente para diversas aplicaciones de manufactura, sobre partes o piezas metálicas u otros materiales conductores de la electricidad.

Este proyecto se llevara acabo de en los laboratorios de la Universidad Internacional SEK en donde realizara el diseño y construcción del dispositivo de temple superficial por inducción, para verificar la efectividad del dispositivo se someterá a varias probetas de acero a diferentes tiempos de calentamiento y diferentes métodos de enfriamiento las cuales serán sometidas a ensayos de dureza Rockwell y ensayos metalográficos en las instalaciones de la universidad.

Planteamiento del problema

Las empresas que suelen trabajar con acero para realizar cualquier tipo de tratamiento térmico se encuentran propensas a generar contaminación ambiental relacionadas con emisiones atmosféricas, emisiones líquidas, generación de residuos sólidos y ruidos debido a los métodos de calentamiento de los metales usados en este tipo de empresas.

Las emisiones atmosféricas se suelen presentar principalmente son el monóxido de carbono (CO), los compuestos orgánicos volátiles (COV), óxido de azufre (SOx), óxidos

nitrosos (NOx) y pequeñas cantidades de clorhidratos y fluoruros.

Hasta ahora, la mayor parte de las empresas utilizaba el templado por llama, dado que apenas existían alternativas factibles. Se denomina templado a la llama al calentamiento de la superficie del acero por la radiación de calor producido en la combustión de gas y oxígeno, gas del alumbrado, gas natural y otros gases derivados del petróleo y de la gasolina.

El problema con el calentamiento por flama es el hollín desprendido en el proceso, así como otras posibles emisiones nocivas para la salud de los operarios y para el medio ambiente en general.

Además otro factor importante que hay que tomar en cuenta y son el espacio que ocupa el equipo en un taller industrial y el costo de la máquina. En el trabajo realizado por (Gide, 1967), diseñó y construyó un sistema de calentamiento por flama a nivel industrial tomando en cuenta todos los componentes que necesita este tipo de calentador como son los gases combustibles, quemadores para aire-gas, cabezales de llama, selección de materiales y equipos auxiliares dio un total de \$1489.63, en comparación a un calentador por inducción industrial que en el mercado se pueden encontrar desde \$300 hasta \$750 y sin ocupar mucho espacio dentro de un taller ya que son máquinas pequeñas.

El presente trabajo de investigación propone el diseño y fabricación de un dispositivo a escala de temple por inducción superficial en aceros aleados, para mejorar las propiedades mecánicas de los metales en cuestión y dejar de lado los métodos tradicionales para el temple de acero que emiten una cantidad considerable de gases contaminantes al medio ambiente.

Hipótesis

¿Si se aplica el método de temple por inducción se mejorara el proceso de templado superficial en los aceros aleados de forma óptima y segura dejando de lado las practicas obsoletas como el calentamiento por flama?

Objetivo General

Diseñar un sistema de calentamiento con base en la inducción electromagnética completamente funcional, para templado de aceros aleados, mejorando las propiedades mecánicas del material en la zona superficial.

Objetivos Específicos

- (1) Diseñar el sistema mecánico del prototipo propuesto para realizar el templado superficial.
- (2) Seleccionar los materiales y componentes adecuados para la construcción del prototipo.
- (3) Construir el sistema de calentamiento por inducción electromagnética y que este sea completamente funcional.
- (4) Verificar mediante pruebas la dureza alcanzada del acero tratado térmicamente y confirmar que el dispositivo es funcional.

Estado del arte.

Tratamientos térmicos

Se conoce como tratamiento térmico al conjunto de procesos en el cual se busca calentar un material hasta un punto crítico y luego enfriar rápidamente con el fin de mejorar las propiedades mecánicas de dicho material y volverlo apto para una tarea específica.

En el estudio que realizo (Perez, 1996) se define como tratamiento térmico al cambio o modificación de las propiedades de un material mediante el calentamiento y enfriamiento controlados de un material.

Los tratamientos térmicos se efectúan para aumentar la resistencia y dureza de los materiales además de mejorar la facilidad de trabajo, liberar los esfuerzos dentro de la pieza, endurecer herramientas y modificar las propiedades eléctricas y magnéticas.

Existen varios tipos de tratamiento térmico los cuales se pueden observar la FiguraN°1.

Figura N°1

Tipos de Tratamientos Térmicos

Recocido	<ul style="list-style-type: none"> • El propósito del recocido suele ser refinar el grano, proporcionar suavidad, mejorar las propiedades eléctricas y magnéticas y, en algunos casos, mejorar el maquinado
Normalizado	<ul style="list-style-type: none"> • Se da este tratamiento a los aceros para que den con los constituyentes y características que puedan considerarse normales o propios de su composición • Se busca eliminar los efectos de cualquier calentamiento o tratamiento anterior
Temple	<ul style="list-style-type: none"> • Este proceso incrementa a su máxima dureza al acero, también se le conoce como temple o templado. • Es cierto que cada acero requiere su temperatura particular de calentamiento para ser templado.
Revenido	<ul style="list-style-type: none"> • El propósito principal de realizar el revenido es disminuir la gran fragilidad que tienen los aceros tras el temple.

Nota. Cuadro explicativo de los tipos de tratamiento térmico. Reproducido de (Perez, 1996)

Endurecimiento superficial de aleaciones ferrosas

El endurecimiento superficial del acero se puede conseguir mediante dos procedimientos: la modificación de la composición química de la superficie del material mediante la difusión de algún elemento químico o modificando la microestructura de la superficie por tratamiento térmico conocido como tratamiento superficial.

En la investigación de (W. González, 2008) el endurecimiento superficial se produjo calentando el acero hasta una temperatura superior al punto crítico (para austenitización), y con una velocidad de enfriamiento superior a la crítica para obtención de la martensita

El objetivo principal del temple superficial es aumentar las propiedades mecánicas del material las cuales son:

- El aumento de la dureza superficial.
- Mejorar la resistencia al desgaste.
- Incrementar el límite de fatiga de la pieza.

Para que exista este endurecimiento superficial el acero debe pasar por varias fases las cuales se pueden observar en la Figura N°2.

Figura N°2

Fases del Acero

Ferrita	<ul style="list-style-type: none"> • La ferrita es el más blando y dúctil constituyente de los aceros. • Al microscopio aparece como granos monofásicos, con límites de grano más irregulares que la austenita.
Cementita	<ul style="list-style-type: none"> • Es el constituyente más duro y frágil de los aceros, alcanzando una dureza de 960 Vickers. Cristaliza formando un paralelepípedo ortorrómbico de gran tamaño.
Martensita	<ul style="list-style-type: none"> • La martensita es una fase muy dura debido al brusco enfriamiento que distorsiona los átomos de carbono retenidos intersticialmente en ella. • Es el constituyente típico de los aceros templados
Perlita	<ul style="list-style-type: none"> • Es un constituyente compuesto por el 86.5% de ferrita y el 13.5% de cementita, es decir, hay 6.4 partes de ferrita y 1 de cementita.
Austenita	<ul style="list-style-type: none"> • Este es el constituyente más denso de los aceros, y está formado por la solución sólida, por inserción, de carbono en hierro gamma.

Nota. Cuadro explicativo de las fases del acero. Reproducido de (W. González, 2008).

Inducción electromagnética.

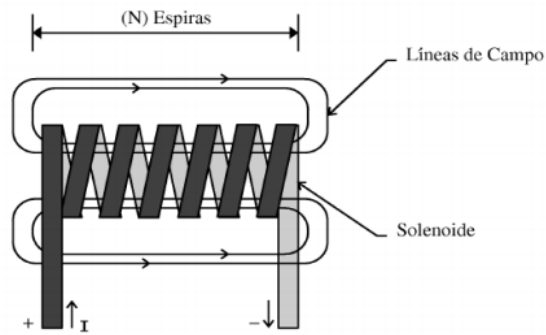
En el año 1831 Michael Faraday demostró mediante experimentación científica que al someter un circuito a una corriente inducida alterna se formara un campo magnético

variable a través del tiempo el cual producirá corrientes parasitas que calentaran un material conductor.

El flujo de corriente fluye a través de la bobina genera un campo magnético alterno que fluye a través del material o pieza de trabajo. Es este campo magnético alterno que induce las corrientes parasitas que calientan la pieza (Perez, 1996).

Figura N°3

Campo Magnético Alterno



Nota. Grafico sobre el comportamiento del campo magnético. Reproducido de (Perez, 1996).

Si un inductor, que normalmente es un bobinado formado por un material conductor, fluye una corriente eléctrica, se genera un campo magnético cuya amplitud y distribución viene dada por la ley de Ampere la cual esta expresada en la fórmula (1).

$$N * I = \oint \vec{H} * d\vec{l} = H * l \quad (1)$$

Dónde:

N: Numero de espiras de un inductor.

I: La corriente que lo atraviesa.

H: Campo magnético.

L: Longitud del circuito.

La ley de ampere ayuda a calcular el campo magnético que se genera por la corriente eléctrica que circula por el inductor cuando esta cumple ciertas condiciones y elige una línea cerrada y adecuada a través del circuito.

Ahora si la corriente es alterna entonces por la ecuación de Faraday-Maxwell se induce un campo magnético variable en el tiempo y en consecuencia para un conductor sumergido en este campo una fem, cuyo valor viene dado por la ecuación dada a continuación.

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi_B}{dt} \quad (2)$$

Dónde:

ε : Es la fuerza electromotriz inducida.

N: Numero de espiras del inductor

ϕ_B : El flujo del campo magnético

La ley de Faraday-Maxwell permitirá calcular campo magnético variable a través del tiempo, más precisamente el voltaje que puede ser generado variando el flujo magnético que atraviesa una superficie dada.

La corriente que circula en el interior del material que está siendo calentado por inducción electromagnética, se le denomina corriente de Foucault, esta última es la responsable del calentamiento producida por el efecto Joule, cuya ley es descrita por la fórmula (3).

$$P = i^2 f * R_{eq} \quad (3)$$

Dónde:

P: Potencia disipada en el inducido.

i: Resistencia eléctrica equivalente del conductor.

f: La frecuencia de la corriente en la bobina.

Req: Resistencia equivalente.

Básicamente lo que se conoce como corrientes de Foucault al fenómeno que se produce cuando un conductor atraviesa un campo magnético variable, o viceversa. El movimiento relativo causa una circulación de electrones dentro del conductor causando que la pieza se caliente.

Como última variable que se debe tomar en cuenta es la cantidad de energía calorífica producida por una corriente eléctrica, esta variable depende directamente del cuadrado de la intensidad de la corriente, del tiempo que ésta circula por el conductor y de la resistencia que opone el mismo al paso de la corriente.

$$Q = I^2 * R_{eq}t \quad (4)$$

$$Q = Pt$$

Dónde:

Q: Energía calorífica producida por la corriente expresada en Julios [W.s]

I: Intensidad de la corriente que circula.

Req: Resistencia eléctrica equivalente del conductor.

t: Tiempo.

P: Potencia disipada en el inducido.

Esta energía calorífica será la transferencia de energía entre el inductor y la pieza en forma de calor o trabajo el cual incrementara o disminuiría hasta encontrar un equilibrio termodinámico.

Temple por inducción

El temple por inducción utiliza el calor inducido por el campo magnético alterno y un rápido enfriamiento para aumentar la dureza y durabilidad del acero. La inducción es un proceso en el cual se genera calor controlable, localizado e intenso, sin necesidad de tener contacto físico con la pieza a temprar.

En el trabajo desempeñado por Olvera y Montenegro en el 2008, realizado en Quevedo-Los Ríos, desarrollaron un prototipo de inducción electromagnética para tratamiento térmico superficial en el aleaciones ferrosas comprobando su funcionamiento aplicando un temple superficial en piezas cilíndricas de acero AISI 4340, incrementando su dureza superficial hasta 2,8 veces respecto al centro de la pieza, con una profundidad de 0,89 mm de transformación de austenita a martensita.

En el análisis metalográfico de las piezas tratadas térmicamente se observó la microestructura del acero AISI-4340 en el centro de las probetas enfriadas al aire y por agua, resultados que tuvieron similitud con la referencia establecida.

Estos resultados obtenidos en el estudio se lograron usando un inductor de alambre de cobre de 4 mm de diámetro con aislante térmico de lana de vidrio y sus extremos con aislante termofundible, un transformador de AC/DC, un puente rectificador GB 4630, condensadores de paso IC4K 2J, Swich de 30A para el arranque del sistema de enfriamiento, un transformador de 500W de (220 a 110) V con un costo total \$2004.49 para el dispositivo.

Materiales y Métodos

Para analizar determinadas propiedades mecánicas del acero que previamente fue sometido a un temple superficial por inducción y enfriado por distintos fluidos como son el agua, aceite y aire respectivamente, se planteó un diseño experimental mediante ensayos

normalizados de dureza (Norma ASTM E 18-03) y metalografía (ASTM E-3) en probetas de ensayo cilíndricas que permitieron determinar sus propiedades mecánicas como la dureza y el tamaño del grano de forma cuantitativa.

Para aplicar el método de temple por inducción en la mejorara del proceso de templado superficial en los aceros aleados de forma óptima se procederá a desarrollar la metodología del diseño para la construcción del prototipo tomando en cuenta los conceptos básicos descritos anteriormente, esto consiste en realizar un estudio del comportamiento de un acero aleado cuando es calentado superficialmente por medio de inducción electromagnética. Luego se procederá a estructurar el proceso de construcción del dispositivo para finalmente realizar pruebas de funcionamiento del prototipo comprobando su efectividad.

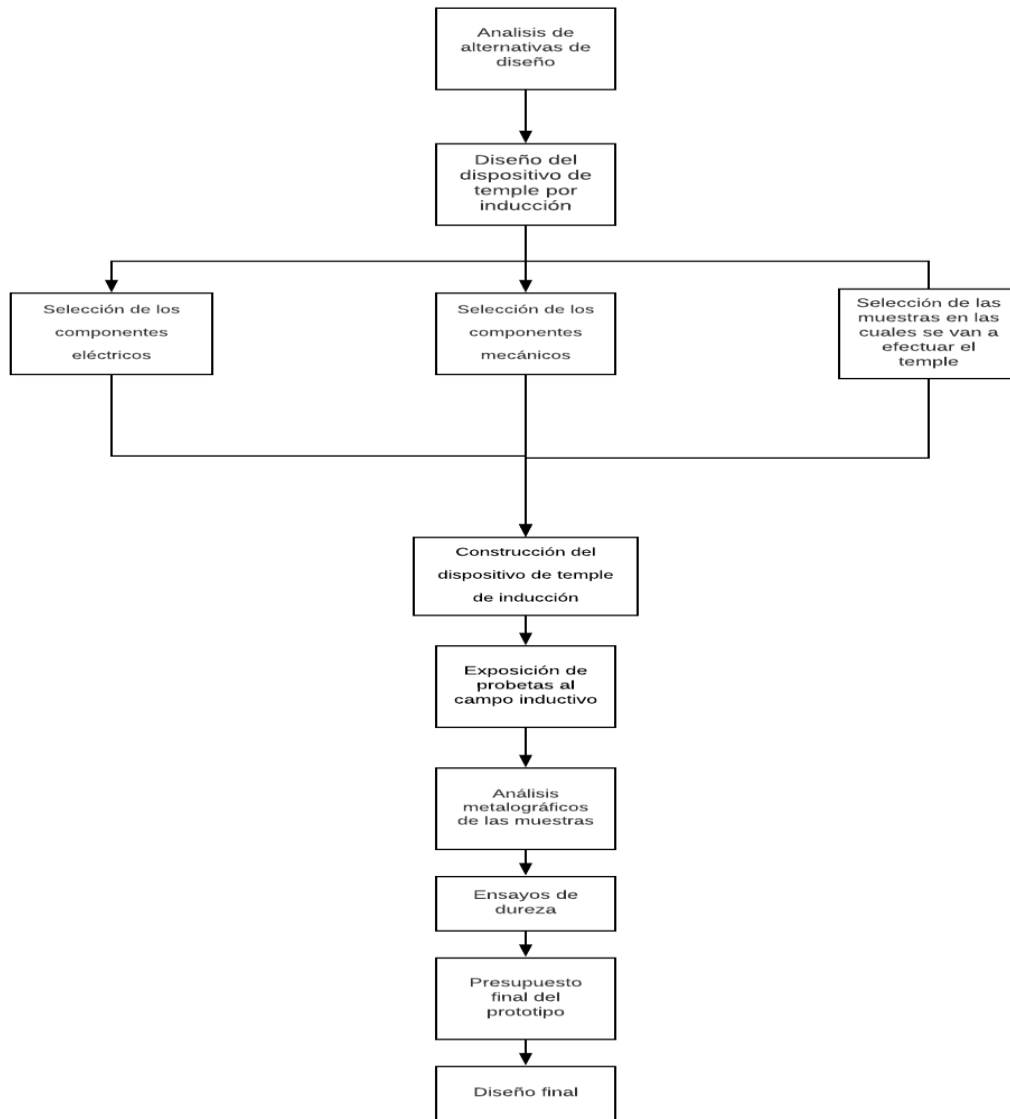
Para la realización del proyecto va a ser necesario seguir una serie de pasos, los cuales marcaran el proceso del desarrollo del dispositivo. Los primero que se debe tomar en cuenta en este proyecto de titulación será comprender los fenómenos que se producen cuando un material conductor (aleación ferrosa) es sometido a un campo magnético atravesado por una corriente que circula (bobina inductora) en forma perpendicular a la superficie, diseños y simulaciones que conllevan al análisis e interpretación de datos determinados en los resultados.

Proceso del diseño

Para ejemplificar mejor los pasos que se van a realizar en el diseño y creación del dispositivo de temple por inducción se realizó un diagrama de flujo como se puede observar a continuación en la Figura N°4.

Figura N°4

Diagrama de Flujo del Proceso de Diseño



Parámetros de selección.

Al momento de elegir una alternativa de diseño, es importante establecer parámetros de selección y funcionamiento de los componentes que formaran parte del dispositivo esto se realizara mediante el análisis del material bibliográfico existente, para obtener un diseño optimo que cumpla con los objetivos planteados en el estudio, para el fin propuesto se predispondrán los siguientes instrumentos: bobina de alambre de cobre, una fuente de poder capaz de entregar la potencia necesaria, software de programación Arduino y piezas de prueba de bajo y medio contenido de carbono.

Alternativas de diseño

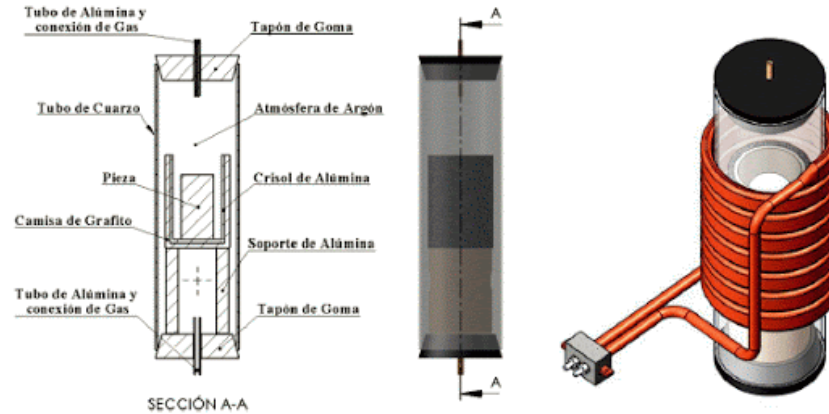
Existen diferentes métodos para realizar un tratamiento térmico superficial en este caso se mostraran las 3 opciones posibles de fabricación.

Alternativa 1. (Horno de inducción)

El horno de inducción funciona con energía eléctrica la cual produce calor gracias a la inducción electromagnética de un medio conductor (un metal) en un crisol, alrededor del cual se encuentran enrolladas las bobinas magnéticas como se puede observar en la siguiente figuraN°5.

Figura N°5

Horno de Inducción



Nota. Representación de un horno magnético. Reproducido de Gonzales, 2013.

Los hornos de inducción puede ser utilizado para fundir, soldar, tratar o ajustar por contracción cualquier material que sea adecuado para su uso con calor por inducción, el tratamiento puede incluir materiales de recocido, endurecimiento o templado.

Ventajas de un horno por inducción.

- Funciona con energía limpia además de ser eficiente desde el punto de vista energético (eficiencia del 97%).
- Proporciona un proceso de fundición y de tratamiento de metales más controlable que con la mayoría de los demás modos de calentamiento.
- Tiene la capacidad de generar una gran cantidad de calor de manera rápida.
- Amigable con el medio ambiente.

Desventajas de un horno por inducción

- La construcción de un horno de inducción es demasiado costoso y requiere de varias piezas para su ensamble.
- Se debe tener manejo especial de estos dispositivos y contar con implementos de seguridad para su uso.

- El proceso de uso y cuidado de este tipo de requiere un control muy específico, la cámara de calentamiento debe mantenerse a baja temperatura y que el crisol este herméticamente sellado, además de que el mantenimiento las piezas de repuesto pueden sr costosas.

Alternativa 2. (Dispositivo de inducción con soldadora)

Este dispositivo tiene como intención usar una soldadora invert como fuente principal de energía de esta forma poder controlar las variables como voltaje y amperaje en el dispositivo además de ahorrar tiempo en la construcción del dispositivo como se puede observar en la siguiente figuraNº6.

Figura N°6

Dispositivo Inductor con Soldadora



Nota. Representación de un dispositivo de inducción. Reproducido de (WINDER, 2008)

Este dispositivo de inducción se utilizara para endurecer superficialmente pequeñas piezas de acero, por temple de su zona periférica. El calentamiento producido por corrientes de alta frecuencia se efectúa en muy pocos segundos, pudiéndose además si se desea, localizar el tratamiento en zonas muy específicas.

Las piezas que deben tratarse térmicamente se colocan dentro de una bobina de cobre y a continuación se calientan por encima de su temperatura de transformación

mediante la aplicación de una corriente alterna a la bobina.

La corriente alterna en la bobina induce un campo magnético alterno dentro de la pieza, que hace que la superficie exterior de la pieza se caliente a una temperatura superior a la del rango de transformación, y son sometidas a un enfriamiento rápido.

Ventajas de un dispositivo inductor con soldadora.

- Debido a que los tiempos de calentamiento son cortos, el calentamiento por inducción a menudo provoca aumento de la producción y la reducción de los costos laborales.
- No necesita de técnicos expertos para la manipulación del equipo.
- Amigable con el planeta ya que no emana gases tóxicos.
- Este método de calentamiento es seguro ya que no tiene contacto físico con el operador.
- Su calentamiento es casi instantáneo es decir relativamente rápido en tan solo segundos.

Desventajas de un dispositivo inductor con soldadora.

- Costos elevados de capital inicial de adquisición.
- Descargas eléctricas, el tocar partes con carga eléctrica viva puede causar un toque fatal.
- Los campos magnéticos pueden afectar aparatos médicos implantados (marcapasos).
- El sobre uso puede causar sobrecalentamiento del equipo.

Alternativa 3. (Tratamiento térmico superficial por láser)

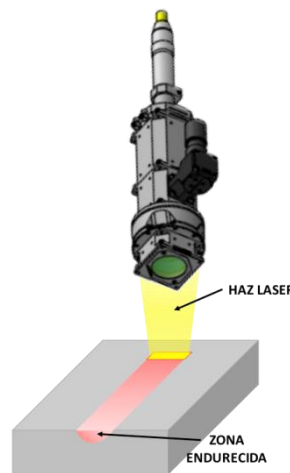
El temple es un tratamiento térmico superficial que se realiza a las piezas de acero que aumenta considerablemente su dureza. Teniendo eso cuenta el grupo de fabricación de alto rendimiento de la UPV/EHU ha realizado el estudio y puesta a punto de una tecnología novedosa para llevar a cabo este proceso de una manera diferente.

El método consiste en realizar el temple mediante el uso de un láser, al ser una fuente de calor muy localizada, permite templear solamente la superficie, dejando el núcleo de las piezas en su estado original; “de esta forma, las piezas no son tan frágiles, y al no introducir mucho calor, no se distorsiona tanto la pieza.

Algo que lo diferencia de los métodos tradicionales ya que la pieza no tiene un contacto directo con el fuego ya que al fin y al cabo el calor excesivo lo que hace es deformar la pieza, y eso luego requiere acabarla por otros medios.

Figura N°7

Temple por Láser



Nota. Representación gráfica del temple por láser. Reproducido de (Rodriguez et al., 2015)

Ventajas del tratamiento térmico por flama.

- Capacidad de endurecimiento de componentes muy pequeños.
- Control exacto del dispositivo.

- Tiempo y ejecución rápida.
- Ninguna deformación en la pieza tratada.

Desventajas del tratamiento térmico por flama.

- Costo elevado para la adquisición de máquinas de temple por láser.
- Mayor consumo energético.
- Los aceros de alta aleación son difíciles de trabajar.

Criterios de diseño para la selección de la alternativa.

Los criterios de diseño en los cuales se va a basar el presente proyecto serán las siguientes alternativas:

Costos de fabricación: Se optará por un diseño con el cual se puede obtener el mejor resultado al menor costo de fabricación sin afectar de forma negativa la calidad del dispositivo.

Alternativa N°1: Al momento de analizar la opción de cuánto costaría fabricar un horno por inducción se realizó una investigación al trabajo de (Alfredo et al., n.d.), en donde diseño y construyó un horno de inducción para fundición de aluminio, el costo total del proyecto tomando en cuenta el diseño, mano de obra, materia prima y componentes dio un total de \$98,141,600.

Alternativa N°2: Para poder fabricar la alternativa N°2 se necesita únicamente del uso de un soldadora inverter que en el mercado se pueden encontrar desde \$130 la más básica y alambre de cobre para realizar las adaptaciones necesarias.

Alternativa N°3: En el caso del temple por láser se tiene el problema en que sus

componentes no están disponibles en el país y la única opción sería obtener los componentes en el extranjero además que el costo de un maquina industrial en el extranjero es de unos \$50,000 buscando en sitios como Alibaba mas el costo de envío.

Capacidad de producción: El dispositivo debe tener la capacidad de aumentar la capacidad de producción y reducir los costos de consumo energético del proyecto.

Alternativa N°1: En este caso se tomó como referencia el trabajo realizado por (Litalien et al., 2011), en donde realizo un estudio sobre a gestión energética de un horno de inducción para fundición de cobre, el estudio revela que un horno en promedio consume 364,866KWh por mes.

Alternativa N°2: Para este caso se analizó el consumo energético que puede tener una soldadora inverter, revisando los manuales del fabricante se pudo determinar que una soldadora consume 5KW al momento de soldar.

Alternativa N°3: El consumo para un equipo de temple por láser tiene un promedio 50KWh durante un mes, esto para piezas pequeñas en el caso de necesitar realizar un temple a piezas de mayor tamaño puede subir hasta 150KWh según la revista trotec.

Mantenimiento: En el caso de realizar un mantenimiento al dispositivo este debe poder realizarse con facilidad y que los componentes se han fáciles de adquirir.

Alternativa N°1: Volviendo al estudio realizado por (Alfredo et al., n.d.), el costo de piezas para horno de inducción tubo un valor final de \$46,141,600.

Alternativa N°2: En el caso de los componentes para una soldadora se pueden encontrar en cualquier tienda de herramientas de la ciudad de Quito, en el peor de los casos se tendría que comprar una soldadora nueva dando un total de \$130.

Alternativa N°3: Como ya se había mencionado antes los componentes para este

tipo de maquina no son fáciles de conseguir a nivel nacional dificultando su adquisición de forma inmediata o conseguir las a un bajo coste.

Velocidad de calentamiento y enfriamiento: Se debe cumplir con los requerimientos y parámetros indicados para un correcto proceso de tratamiento superficial puesto que de esto depende la efectividad del tratamiento térmico.

En este apartado cabe decir que las 3 opciones se caracterizan por un rápido calentamiento de la pieza a tratar, son muy eficientes en cuanto se refiere a la velocidad de calentamiento.

Operación del equipo: Al momento de que el dispositivo este ensamblado y puesto en marcha se deberá considerar si este equipo requiere o no personal capacitado para operarlo.

Alternativa N°1: Para poder operar un horno de inducción se debe tener una capacitación previa además de contar con indumentaria de seguridad para evitar accidentes al momento de operar el dispositivo.

Alternativa N°2: A diferencia de a anterior alternativa, esta no necesita de indumentaria de seguridad más que unos guantes de seguridad, además de ser un sistema sencillo y fácil de operar sin necesidad de una capacitación previa.

Alternativa N°3: Cuando estamos hablando de un dispositivo de laser como es en este caso no es algo que se pueda operar de forma manual ya que se necesita una gran precisión, este tipo de máquinas se manejan mediante un software especial para operar la maquina por lo cual se necesita un conocimiento previo para su uso.

Tomando en cuenta estos criterios de diseño se tomara como base para seleccionar la alternativa correcta que cumpla con todos los requisitos expuestos anteriormente y brinde

la mejor resolución para el diseño del prototipo de temple por inducción.

Matriz de decisión para las alternativas de diseño.

En la matriz de decisión se procederá a seleccionar la mejor alternativa para la construcción del prototipo final del proyecto.

En la matriz se tomaran en cuentas todos los criterios de diseño mencionados anteriormente dando un valoren porcentaje según la conveniencia y facilidad al momento de llevar a cabo el proyecto.

A cada criterio se puntuara con una calificación de 3 como valor máximo y con un valor de 1 como valor mínimo.

Tabla N°1

Matriz de Toma de Decisiones

Criterios	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Motivo
Costos de fabricación (30%)	1	3	1	La alternativa N°2 es más económica.
Capacidad de producción (15%)	1	3	2	La alternativa N°2 consume menos energía.
Mantenimiento (30%)	1	3	1	En la alternativa N°2 es más fácil conseguir componentes y a menor costo.
Velocidad de calentamiento (15%)	3	3	3	Las 3 opciones pueden ser viables en este caso.
Operación del equipo (10%)	1	3	1	En la alternativa N°2 no se necesita de capacitación previa.
Total	7	15	8	

Nota. Tabla en donde se explica el método para la toma de decisión.

Al final se consideró que la alternativa 2 según sus características, ofrece un calentamiento instantáneo, sin riesgos debido a que no tiene contacto físico con el operador, amigable con el planeta puesto que no emana gases tóxicos, no demanda de mucho espacio y el costo de fabricación está dentro del presupuesto del proyecto.

Tipos de piezas a utilizar.

Ahora que se definió cuál de las alternativas es la más conveniente para este se proyectó de titulación, se procederá a detallar las características de cada uno de los instrumentos a utilizar.

Diseño del dispositivo de temple por inducción

Bobina de alambre de cobre: Las bobinas, también conocidas como inductores, es básicamente un transformador primario que induce a alta frecuencia de salida de una fuente de poder a una pieza de trabajo, el cual es efectivamente el transformador secundario. El diseño de la bobina es de una aplicación específica, por lo que el tipo de bobina para ser utilizado debe ser seleccionado para el tipo de trabajo que se busca realizar.

Al momento de diseñar la bobina de inducción para el desarrollo del proyecto, se tomaron en cuenta las características técnicas intrínsecas del material, la geometría y el desempeño ante condiciones específicas controladas, así como los aspectos concernientes al acoplamiento adecuado a la fuente de alimentación y potencia para la construcción del prototipo, entre otras particularidades que se presentan comúnmente en la fabricación de sistemas de calentamiento por inducción.

Investigando en las opciones disponibles en el mercado y tomando en cuenta la facilidad de adquisición de los componentes del dispositivo se optó por usar alambre de cobre para la fabricación de la bobina inductora la cual posee las siguientes características.

Tabla N°2

Características del Alambre de Cobre

Descripción	Valor
Diámetro del alambre	3mm
Longitud total del alambre adquirido (Fines prácticos)	2m
Costo por metro	\$1.23
Conductividad eléctrica	5.998e7 [S/m]
Permeabilidad relativa	1
Densidad	8700 [Kg/m ³]
Coefficiente de expansión térmica	17e-6(1/K)
Conductividad térmica	400 [W /m*K]
Módulo de Young	110e 9(Pa)
Capacidad calorífica	385(J /Kg*K)
Resistividad de resistencia	1.72*10-8(Ω*m)
Relación de Poisson	0.35
Temperatura de referencia	298K

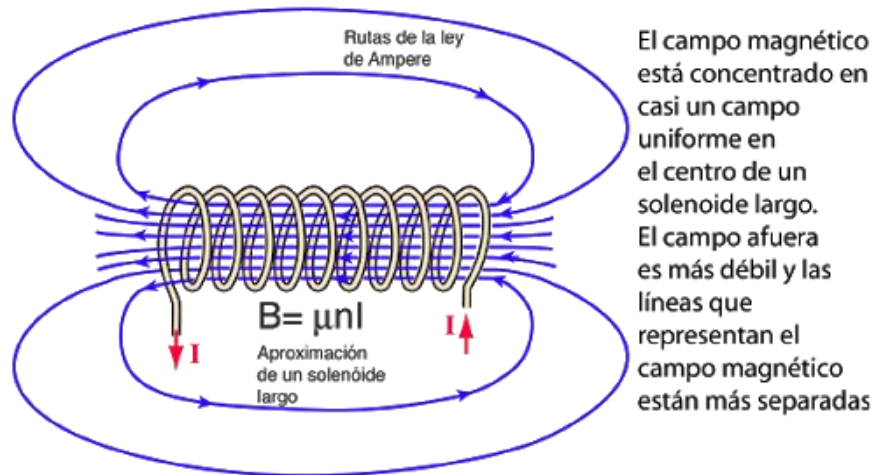
Nota. Tabla en donde se explica las características principales del alambre de cobre.

Análisis de la geometría de la bobina.

Se optó por una bobina de forma helicoidal por su capacidad de concentrar flujo magnético en su interior y la facilidad de construcción que presenta esta alternativa, se puede observar un ejemplo en la siguiente figuraN°8.

Figura N°8

Bobina de Forma Helicoidal



Nota. Representación gráfica de una bobina helicoidal. Reproducido de (Rodriguez et al., 2015)

Refrigeración de la bobina

Durante el proceso de calentamiento la bobina experimentará pérdidas debido al efecto Joule, debido a su resistencia eléctrica del material del bobinado, razón por la cual la bobina se refrigerará por aire cuando el dispositivo este apagado.

Componentes eléctricos

Arduino 1

El Arduino es una placa basada en un microcontrolador ATMEL. Los microcontroladores son circuitos integrados en los cuales se pueden grabar instrucciones utilizando el lenguaje de programación propio de la placa el cual es Arduino IDE. Estas instrucciones permiten crear programas que interactúan con los circuitos de la placa.

El arduino uno controlara el circuito que monitoreara la temperatura del dispositivo de inducción.

Figura N°9

Placa Arduino



Termocupla Max 6675 tipo K

La termocupla max 6675 tipo K, es un sensor de temperatura muy sensible y es lo

más utilizado a la hora de hacer mediciones en la industria, formados por dos alambres de metal que soportan altas temperaturas, este extremo genera un pulso en milivolts y mediante la programación se lo convierte en grados centígrados.

Figura N°10

Termocupla Maxx6675



Las características técnicas de la termocupla max6675 las podemos observar en la tabla N°3.

Tabla N°3

Características de la Termocupla Maxx6675

Característica	Medida
Voltaje de operación	5V
Corriente de trabajo	50mA
Rango de temperaturas	0°C - 1023°C
Resolución de temperatura	0.25 modo de salida

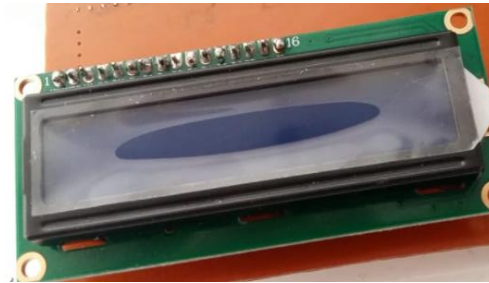
Nota. Tabla en donde se explica las características principales de la termocupla.

Pantalla lcd 16x2.

La pantalla lcd 16x2 es una pantalla de cristal líquido que permite mostrar caracteres, esta pantalla estará conectada a la termocupla max 6675 para poder observar en tiempo real la temperatura del inductor.

Figura N°11

Pantalla Lcd 16x2



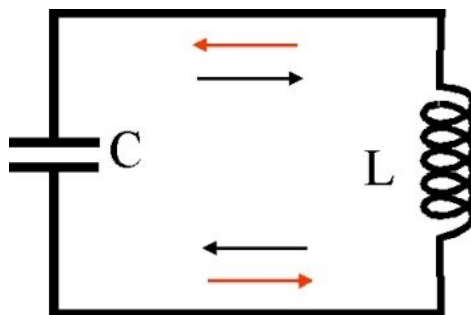
Circuito tanque.

El circuito tanque es una conexión en paralelo de una bobina y un condensador o capacitor, este tiene la propiedad de que al ser alimentado por una tensión eléctrica entra en resonancia basado en el almacenamiento de energía oscilante, en otras palabras genera una señal senoidal de una frecuencia fija.

Para la construcción de este circuito tanque se realizara un banco de capacitores de 2.2mF y 250V de poliéster.

Figura N°12

Circuito Tanque



Nota. Representación gráfica del circuito tanque. Reproducido de (Olvera, 2018)

Fuente de poder (Soldadora IW200BV)

Se hará uso de una soldadora como fuente de poder ya que la soldadora sirve

principalmente como un dispositivo que permite ejercer un control sobre la corriente, ya sea esta corriente alterna (CA) o continua (CC), así como, sobre el amperaje y el voltaje.

Cabe mencionar que se optó como fuente de poder a la soldadora IW200BV por su capacidad de entregar una gran cantidad de corriente alterna en altas frecuencias de trabajo además de que esta soldadora es económica y fácil de conseguir repuestos y servicio técnico a nivel nacional, algo que una fuente de poder común no sería capaz de generar por sí sola, la capacidad de que la soldadora adquirida trabaje en altas frecuencias de trabajo se debe al transformador toroidal que porta lo cual es crucial en este proyecto, ya que si la fuente no es capaz de entregar la suficiente cantidad de corriente alterna con una frecuencia elevada no será capaz de generar un campo magnético variable que sea capaz de calentar un metal ferromagnético. Las características de la soldadora escogida se las puede observar en la siguiente tabla N°4.

Tabla N°4

Características de la Soldadora Inverter

Descripción	Valor
Voltajes de funcionamiento	110V/220V
Potencia	5800W
Amperaje 110V	30-160 A
Amperaje 220V	30-200 A
Peso	9 kg
Modelo	IW-200BV
Tecnología	Inverter

Nota. Tabla en donde se explica las características principales de la soldadora.

Figura N°13

Soldadora Invert IW200BV



Nota. Imagen de a soldadora. Reproducido de (S&B Import, 2018)

Características del transformador toroidal.

Como se mencionó anteriormente la soldadora posee en su interior un transformador toroidal, este componente permitirá adecuar la soldadora para que cumpla también la función de un calentador por inducción, para poder realizar dicha tarea se dio dos vueltas de alambre de cobre esmaltado de 2mm de diámetro en el toroide de esta manera se aprovechara la corriente de salida alterna del toroide para el dispositivo inductor, se puede observar la adaptación que se le realizo al toroide la en la figura N°14 y sus características en la tablaN°5.

Figura N°14

Transformador Toroidal de la Soldadora

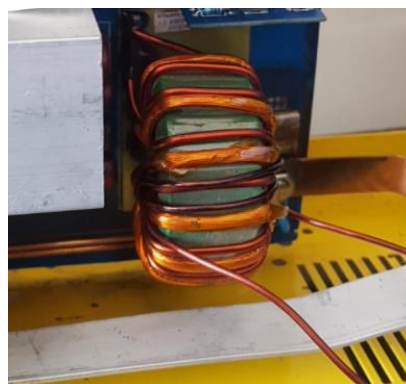


Tabla N°5

Características del Transformador Toroidal

Características del toroide	Valor
Dimensiones	56*28*28 mm
Vueltas originales	23
Vueltas con la adaptación	25

Nota. Tabla en donde se explica las características del toroide.

Calculo de corriente en el toroide.

A continuación se calculará la corriente que circula por el toroide, tomando en cuenta que al tener las dos terminales conectadas directamente en el transformador, la corriente de salida será la máxima que puede entregar el toroide dependiendo si a soldadora está conectada a 110V o 220V.

$$I_a = \frac{P}{V} \quad (5)$$

Dónde:

I_a = Corriente alterna [A].

P= Potencia de la soldadora [W].

V= Voltaje alterno de entrada [V].

$$I_a = \frac{5800}{220}$$

$$I_a = 26.36A$$

(corriente que circula por el toroide en 220V)

$$I_a = \frac{5800}{110}$$

$$I_a = 56.72A$$

(corriente que circula por el toroide en 110V)

Campo magnético del toroide

El campo magnético de un toroide viene dado por la ley de ampere mencionada

anteriormente, este campo magnético producido por el toroide permitirá una mayor inductancia en el dispositivo.

$$B = \frac{\mu NI}{2\pi r} \quad (6)$$

Dónde:

B= Campo magnético del toroide [T].

N=Numero de vueltas del toroide.

I= Corriente que circula por el toroide [A].

r= radio central del toroide [m].

μ = Permeabilidad relativa del núcleo (hierro dulce=5000)

Los resultados de los cálculos del campo magnético del toroide tomado en cuenta el cambio de vueltas y tensión eléctrica, se puede observar en el apartado de resultados en la tablaN°14.

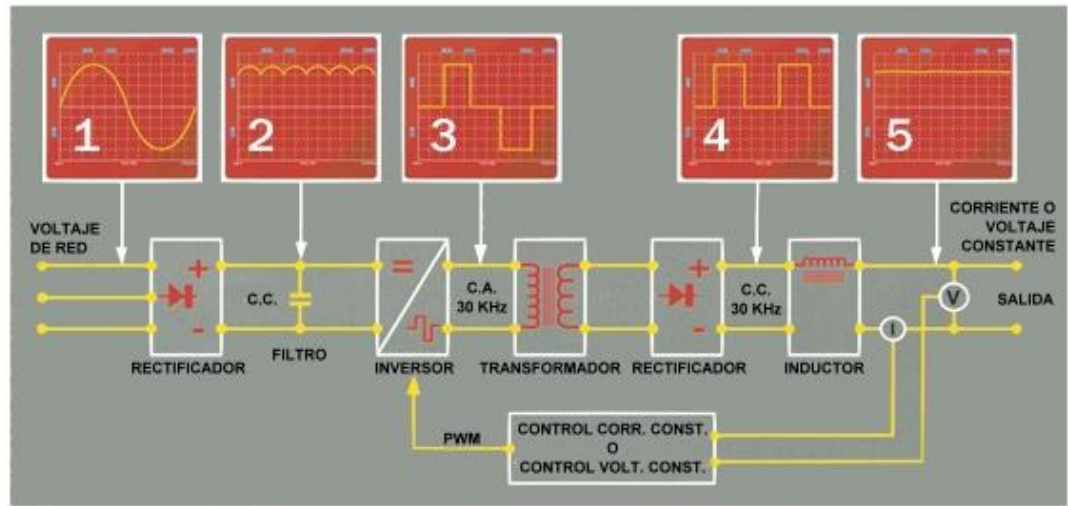
Frecuencia de trabajo del inductor

Las soldadoras inverter utilizan un rectificador de onda completa, este rectificador transforma la frecuencia de 50-60Hz de AC (Corriente Alterna) a DC (Corriente Continua). Está energía pasará a transformarse en AC de alta frecuencia, la cual tiene valores que oscilan entre 20.000 y 50.000Hz.

Aunque se trata de un proceso sumamente complejo que involucra varias etapas, ya que la corriente se rectifica y se invierte varias veces desde que sale de la fuente de energía hasta que llega a la antorcha de soldadura, podemos resumir este proceso en la figuraN°15.

Figura N°15

Proceso de la Frecuencia de Trabajo de una Soldadora Invert



Nota. Imagen de proceso de la frecuencia en una soldadora. Reproducido de (Demaquinasyherramientas, 2018)

Profundidad de penetración

La frecuencia de trabajo está ligada a la profundidad de penetración en nuestras piezas de acero las cuales van a ser sometidas a tratamiento térmico. Para realizar un temple superficial se recomienda utilizar valores de frecuencia 25 y 60kHz.

Para determinar a profundidad se hará uso de la ecuación N°8, la cual determina dependiendo de la frecuencia de trabajo que tan profundo se endurecerá la pieza.

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi * f * \mu_0 * \mu_r}} \quad (7)$$

Dónde:

δ =Profundidad de penetración [m].

ρ =es la resistividad eléctrica de acero = $20 * 10^{-8}$ [Ω m]

μ_0 = Permeabilidad al vacío es una constante= $4\pi * 10^{-7}$ [H/m]

μ_r = Permeabilidad magnética relativa del acero = 1.00720 [H/m]

f=Frecuencia de trabajo= (25000-60000Hz)

$$\delta = \sqrt{\frac{20 * 10^{-8}}{\pi * (50000) * (4\pi * 10^{-7}) * (1.00720)}}$$

$$\delta = 0.001001m$$

$$\delta = 1mm$$

En la tabla N°6 se puede observar los diferentes niveles de profundidad dependiendo de la frecuencia de trabajo.

Tabla N°6

Frecuencia vs Penetración

Frecuencia Vs Penetración	
Frecuencia (Hz)	Penetración (mm)
25000	1,418
30000	1,295
35000	1,199
40000	1,121
45000	1,057
50000	1,003
55000	0,956
60000	0,916

Nota. Tabla que relaciona la frecuencia con la penetración del calor. Reproducido de (Olvera, 2018)

Calculo del banco de capacitores

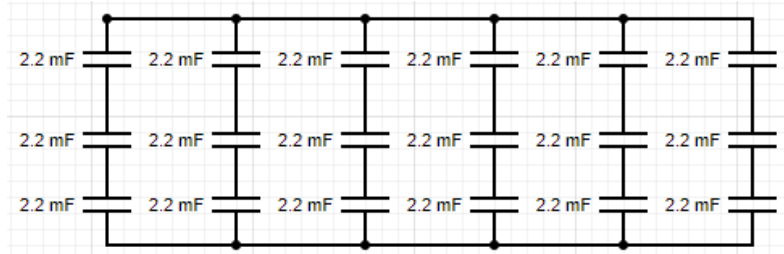
Se hará uso de un banco de capacitores que formara parte del circuito tanque o resonante mencionado anteriormente, este banco de capacitores también ayudara a disipar el calor que produce el dispositivo inductor ya que este suele ser un problema común en los calentadores por inducción.

El banco de capacitores está diseñado de 21 capacitores de poliéster de unos 2.2mF y 250V, se escogió este tipo de capacitores ya que al ser de poliéster tiene alta constante

dieléctrica, tamaño pequeño, gran capacidad y buena estabilidad además de que pueden disipar mucho mejor el calor. La conexión de estos capacitores se puede observar en la figuraN°16.

Figura N°16

Conexión del Banco de Capacitores



Para conocer la capacitancia equivalente del banco de capacitores se hará uso de la ecuación (8) para el cálculo de los capacitores en serie.

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} \dots \frac{1}{C_n}} \quad (8)$$

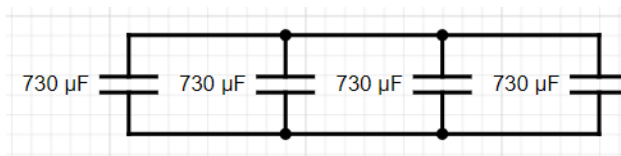
$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{2.2\text{mF}} + \frac{1}{2.2\text{mF}} + \frac{1}{2.2\text{mF}}}$$

$$C_T = 0.73\text{mF}$$

Al calcular la capacitancia equivalente de los capacitores que están conectados en serie obtenemos la siguiente disposición, figuraN°17.

Figura N°17

Conexión del Banco de Capacitores



Ahora para el cálculo de la capacitancia total del banco de capacitores se usa la

ecuación (9) para capacitores en conectados en paralelo.

$$C_T = C1 + C2 + C3 \dots Cn \quad (9)$$

$$C_T = 0.73 + 0.73 + 0.73 + 0.73 + 0.73 + 0.73 + 0.73$$

$$C_T = 5.11\text{mF}$$

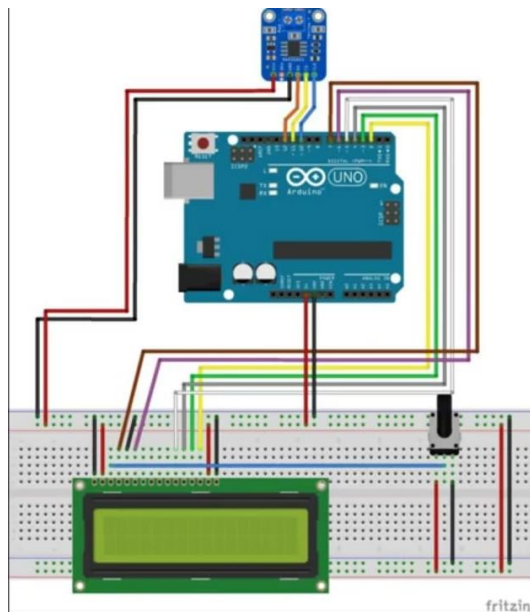
Al final el banco de capacitores tiene una capacitancia total de 5.11mF y el voltaje de estos igual se suma dando un total de 5250V.

Diseño del medidor de temperatura.

El medidor de temperatura básicamente está conformado por una placa de arduino 1 en donde estará el programa que medirá la temperatura en tiempo real, una pantalla lcd en donde se podrán observar los valores de temperatura, un potenciómetro para regular el brillo de la pantalla y la termocupla Max 6675 que será el sensor del circuito, la conexión de dicho dispositivo se puede observar en la figuraN°18.

Figura N°18

Conexión del Dispositivo Electrónico.



Manufacturación de la bobina

Para la manufacturación de la bobina se tendrá en cuenta el factor Q de la bobina la cual determina la calidad de la bobina, este factor Q mide la relación entre la energía reactiva que se almacena y la energía que se disipa, durante un ciclo completo de la señal, la cual viene dada por la siguiente formula (10).

$$Q = \frac{2\pi \text{ Energia maxima almacenada por ciclo}}{\text{Energia disipada por ciclo}}$$

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{2\pi * f * L}{R} \quad (10)$$

Dónde:

X_L : Reactancia inductiva (Ω).

R: Resistencia de la bobina real (Ω).

f: Frecuencia (Hz).

L: Inductancia (μH).

Q: depende del valor de la frecuencia.

Básicamente la fórmula determina que, cuando circula una cierta cantidad de energía en la bobina, esta debe ser capaz de almacenar dicha energía para obtener un porcentaje alto de inductancia en cada ciclo de trabajo del inductor.

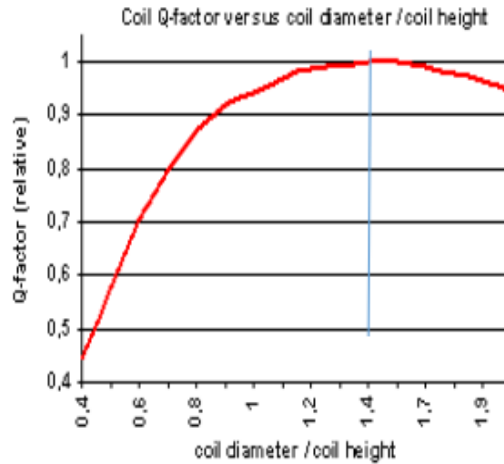
Factor Q

Para obtener una bobina de mayor calidad (Factor Q) es importante considerar la relación entre el diámetro y la longitud de la bobina, el siguiente gráfico ayuda a comprender la relación idónea entre estas dos variables, lo cual permite determinar las dimensiones adecuadas de la bobina.

En la figuraN°19 muestra que para obtener un alto factor Q en la bobina este debe tener un diámetro mayor a un 40% que la longitud de la misma.

Figura N°19

Relación a Considerar Entre el Diámetro y la Longitud de la Bobina



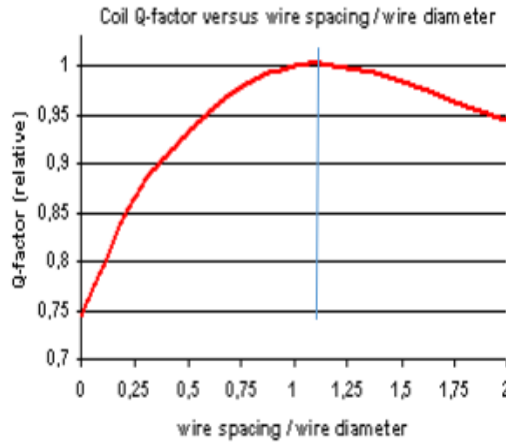
Nota. Grafica para describir el factor Q. Reproducido de (WINDER, 2008)

Tomando en cuenta que las piezas que se usaran para probar la eficiencia del dispositivo inductor serán ejes de 10mm y 13mm de diámetro se optó por diseñar una bobina de 27mm de diámetro interno para las piezas.

El factor Q también permite determinar el espacio que debe existir entre cada vuelta en relación al diámetro del alambre de la bobina, esto está definido en la siguiente figuraN°20.

Figura N°20

Relación entre el Diámetro del Alambre y el Espacio entre cada Espira



Nota. Grafica para describir el factor Q. Reproducido de (WINDER, 2008)

Como se puede observar en la figura N°20 para que la bobina tenga un alto factor Q, el espacio que hay entre cada vuelta debe ser proporcional al diámetro del alambre de cobre.

Dimensionamiento de la bobina.

Diámetro de la bobina: 27mm

Largo: Ø+40%

$$L = \frac{27 * 100}{140} \quad (11)$$

$$L = 19.28\text{mm}$$

El paso de la bobina=Diámetro del alambre

P= Ø

P=3mm

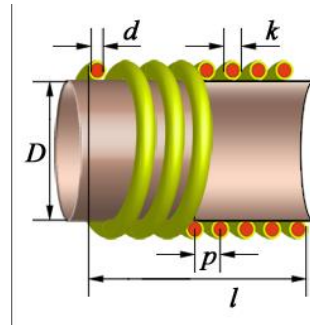
Ahora que ya se conocen las dimensiones de las bobinas, el material y la frecuencia de trabajo, se puede utilizar estos parámetros en el software coil32V para el diseño digital de la bobina.

El primer paso será realizar el cálculo de inductancia de la bobina de 27mm como se

puede observar en la siguiente figuraN°21

Figura N°21

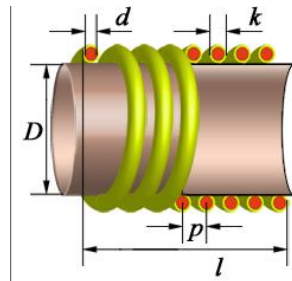
Software Coil32V Valor de la Inductancia Bobina Ø 27mm



Sabiendo que la inductancia de la bobina es de $0.853\mu\text{H}$, se procede a introducirlo en el software con el objetivo de conocer las características fundamentales de la bobina, como se observa en la figuraN°22.

Figura N°22

Software Coil32V Valor de las Características de Construcción de la Bobina de Ø 27mm



Determinación del campo magnético de la bobina

En el momento en el cual circula una corriente por la bobina se genera a su alrededor un campo magnético.

El campo magnético que se produce depende de la intensidad de corriente que circule por el conductor y de su sentido. Si es corriente alterna (variable), el campo magnético será variable igual que la corriente que circula por la bobina.

Se conoce que la inductancia es un factor que depende de las características físicas de la bobina (es decir de la geometría y de los materiales con los que está hecha) y no de la corriente que circula por él. A mayor cantidad de espiras enrolladas que tenga la bobina, la inductancia es mayor.

El flujo magnético, será siempre proporcional a la intensidad que recorre la bobina. En este caso para determinar el campo magnético se hará uso de la siguiente formula (12).

$$B = \mu_0 * \frac{N}{l} * i \quad (12)$$

Dónde:

B= Es el flujo magnético o campo creado [T].

l= Longitud de la bobina [m].

N=Numero de espiras.

μ_0 = Permeabilidad al vacío ($\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$) [H/m].

i= La intensidad de corriente o amperaje (la que circula por el toroide) [A].

Una vez calculado las distintas magnitudes del campo magnético con diferentes medidas de corriente las cuales se pueden observar en el apartado de resultados en la Tabla N°15.

Densidad de la energía almacenada en el inductor (μ_1).

La bobina almacena energía en forma de campo magnético cuando aumenta la intensidad de corriente, devolviéndola cuando esta disminuye. Y viene expresado por las siguientes ecuaciones.

$$\mu_1 = \frac{1}{2 * \mu_0} * B^2 \quad (13)$$

Dónde:

B = Es el flujo magnético o campo creado [T].

μ_0 = Permeabilidad al vacío ($\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$) [H/m].

μ_1 =Densidad de la energía almacenada en el inductor [J/m^3].

Los resultados obtenidos de la densidad de la energía almacenada en función de la variación de los campos magnéticos se puede encontrar en el apartado de resultados en la Tabla N°16.

Energía del inductor (μ).

$$\mu = \frac{1}{2} * l * i^2 \quad (14)$$

Dónde:

l = Longitud de a bobina [m].

i = Amperaje [A].

μ = Energía del inductor [J].

Los resultados obtenidos de la energía del inductor en función de la variación de la corriente y la longitud de la bobina se puede encontrar en el apartado de resultados en la Tabla N°17.

Resistencia del cable

Ahora se necesita conocer la resistencia del cable a la corriente eléctrica y esto se puede determinar gracias a la siguiente formula.

$$R_a = \rho \frac{l}{A} \quad (15)$$

Dónde:

R_a = Resistencia del alambre [Ω].

l = Longitud del alambre sin fines [m].

A = Área transversal del alambre [m^2].

ρ = Resistividad eléctrica del material del alambre (cobre= $1.72 \cdot 10^{-8}$) ($\Omega \cdot m$)

Determinación del área transversal del cable

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (16)$$

$$A = \frac{\pi(3 \cdot 10^{-3}m)^2}{4}$$

$$A = 7.06 \cdot 10^{-6}m^2$$

Resistencia total

$$R_{total} = R_a * R_e \quad (17)$$

Dónde:

R_{total} =Resistencia total del alambre [Ω].

R_a = Resistencia del alambre [Ω].

R_e = Resistencia equivalente del material (79.95k Ω) [Ω].

Los resultados de la resistencia del cable que conforma cada una de las bobinas y su resistencia total se puede observar en la tablaN°18 en la sección de resultados.

Potencia disipada por la bobina.

La obtención de la potencia disipada la obtendremos aplicando la ley de Joule, los cálculos realizados los podemos encontrar en el apartado de resultados en la tablaN°19.

$$P = I^2 * R_{total} \quad (18)$$

Dónde:

P =Potencia disipada por la bobina [W].

I = Corriente [A].

R= Resistencia total [Ω].

Energía disipada por la bobina

Ahora se procede a calcular la energía disipada por la bobina en Joules con la siguiente ecuación (20), con el objetivo de conocer si esta será capaz de calentar las piezas de acero a la temperatura necesaria, los resultados finales de este cálculo se podrán observar en la tabla N°20.

$$Q = P * t \quad (19)$$

Dónde:

Q= Energía disipada por la bobina [J].

P= Potencia [W].

T= tiempo definido para las pruebas [seg].

Elección de las piezas a temprar

Casi todos los aceros destinados para el uso industrial pueden ser templados, por ejemplo los aceros para resortes, aceros para trabajo en frío, aceros de temple y revenido, aceros para los rodamientos, aceros para trabajo en caliente y aceros de herramientas, así como una gran cantidad de aceros inoxidables de alta aleación. El acero en si es una combinación de hierro y carbono, el acero cubre una amplia gama de productos en el mercado, dada la gran diversidad de distintos aceros, estos clasifican principalmente por su contenido de carbono en:

1) Aceros de bajo contenido: entre 0.08 hasta 0.25 % en peso de carbono. Son blandos pero dúctiles, muy trabajables, aceros de bajo carbono. Utilizados en la industria automotriz, tuberías, elementos estructurales de edificios y puentes, varillas de refuerzo,

corazas de barcos, etc.

2) Aceros de medio contenido: entre 0.25 – 0.60 % en peso de carbono. Para mejorar sus propiedades se aplican tratamientos térmicos, se emplean en la manufactura de piezas que requieren una alta resistencia mecánica y al desgaste.

3) Aceros de alto contenido: entre 0.60 – 1.40 % en peso de carbono. Son aún más resistentes que el acero de medio carbono, pero menos dúctiles. Se añaden otros elementos formando carburos (como el wolframio) para incrementar la dureza. Se emplean principalmente para la fabricación de herramientas.

Para la prueba de templado se utilizara tres tipos de acero los cuales son:

Características de AISI 705

El acero AISI 705 es un acero de mediano contenido de carbono, utilizado ampliamente en elementos estructurales que requieren de mediana resistencia mecánica y tenacidad a bajo costo.

Este tipo de acero es de aplicación universal que proporciona un nivel medio de resistencia mecánica, tenacidad y puede ser usado en condiciones de suministro; laminado en caliente o con tratamiento térmico (templado y revenido).

Es utilizado para todo tipo de elementos que requieren de dureza y tenacidad como ejes de leva, barras de torsión, manivelas, tornillería de alta resistencia, mandriles, engranajes de baja velocidad, espárragos, acoplamientos, bielas, pasadores, cigüeñales, cardanes, etc.

Los valores referenciales de la composición química del AISI 705 y sus propiedades mecánicas las podemos observar en la tabla N°7 y tabla N°8 respectivamente.

Tabla N°7

Composición Química del Acero AISI 705

%C	%Mn	%Si	%P	%S
0.38-0.43	0.60-0.80	0.15-0.35	0.03	0.04

Nota. Tabla de las características químicas del AISI 705. Reproducido de Otero, 2020

Tabla N°8

Propiedades Mecánicas del AISI 705

Dureza	Esfuerzo Fluencia (min)	Esfuerzo tracción	Elongación (min)
270-330HB	40kg/mm2	63-73kg/mm2	15%

Nota. Tabla de las características mecánicas del AISI 705. Reproducido de Otero, 2020

Características de AISI 1018

También conocido como acero de transmisión, es un acero muy útil debido a sus características típicas de buena resistencia mecánica y buena ductibilidad.

En términos generales excelente soldabilidad y mejor maquinabilidad que la mayoría de los aceros por su bajo contenido de carbono. Este acero tiene diversas aplicaciones es muy usado que requieren cargas no muy severas, pero con grado de tenacidad importantes, como por ejemplo: pernos y tuercas, piezas de maquinarias pequeñas, ejes, bujes, pasadores, grapas, etc.

Los valores referenciales de la composición química del AISI 1018 y sus propiedades mecánicas las podemos observar en la tabla N°9 y tablaN°10 respectivamente.

Tabla N°9

Composición Química del Acero AISI 1018

%C	%Mn	%P	%S
0.15-0.20	0.60	0.035	0.05

Nota. Tabla de las características químicas del AISI 1018. Reproducido de Otero, 2020

Tabla N°10

Propiedades Mecánicas del AISI 1018

Dureza	Esfuerzo Fluencia (min)	Esfuerzo tracción	Elongación (min)
163HB	31kg/mm2	51-71 kg/mm2	20%

Nota. Tabla de las características mecánicas del AISI 1018. Reproducido de Otero, 2020

Características de AISI 1020.

Acero de bajo carbono, responde bien al trabajo en frío y al tratamiento térmico de cementación. Tiene un alto índice de soldabilidad, y por su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para elementos de maquinaria y usos convencionales de baja exigencia.

Se utiliza en ejes, cadenas, remaches, tornillos, pernos, sujetadores, engranajes, piñones, piezas de maquinaria, pasadores de baja resistencia, prensas y levas.

Los valores referenciales de la composición química del AISI 1020 y sus propiedades mecánicas las podemos observar en la tabla N°11 y tablaN°12 respectivamente.

Tabla N°11

Composición Química del Acero AISI 1020

%C	%Mn	%P	%S
0.18-0.23	0.30-0.60	0.04	0.15-0.30

Nota. Tabla de las características químicas del AISI 1020. Reproducido de Otero, 2020

Tabla N°12

Propiedades Mecánicas del AISI 1020

Dureza	Esfuerzo Fluencia (min)	Esfuerzo tracción	Elongación (min)
180-220HB	38kg/mm2	40kg/mm2	25%

Nota. Tabla de las características mecánicas del AISI 1020. Reproducido de Otero, 2020

Temperatura ideal para el temple

Al momento de calentar un material como el acero se altera sus propiedades dependiendo del contenido de carbono que este posea.

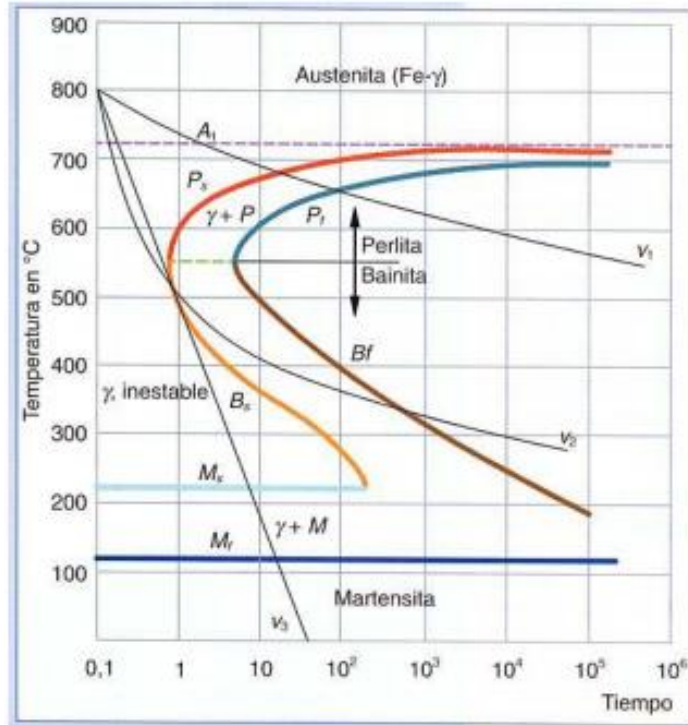
En este caso al estar usando piezas que poseen entre un 0.20%-0.40% de carbono, se puede decir que este tipo de acero posee una buena condición para ser templado.

Para este estudio se empleará tres tipos de acero: el AISI 705, AISI 1018 y AISI 1020 para estudiar las distintas reacciones exponiendo a los tres a diferentes tiempos de calentamiento y distintos tipos de enfriamiento.

Para el acero AISI 705 será tratado desde temperaturas intercríticas donde se encuentran ferrita y austenita y al realizar el enfriamiento rápido se transforma en martensita, será calentado a temperaturas alrededor de 815°C. Esto se sabe gracias al diagrama TTT (temperatura, tiempo, transformación de austenita) o curva S. Este diagrama resume las posibles transformaciones de la austenita para cada acero, el diagrama TTT del acero AISI 705 se puede observar en la figura N°23.

Figura N°23

Diagrama TTT del Acero AISI 705

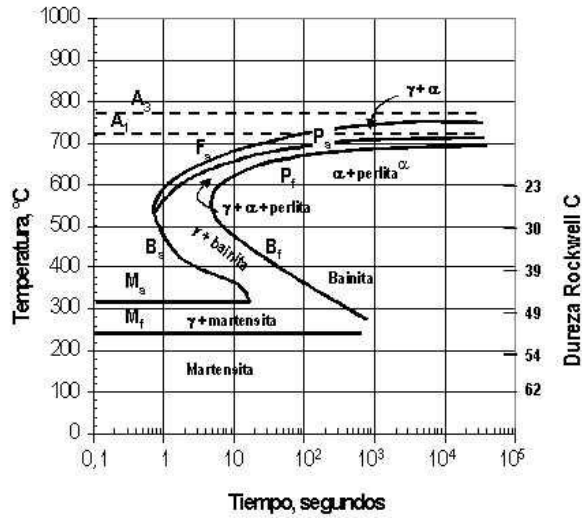


Nota. Diagrama TTT de acero AISI 705. Reproducido de (Fay, 1967)

En el caso del acero AISI 1018 y AISI 1020 al tener características similares según el diagrama TTT la temperatura de temple sería de 705 °C asociado a las distintas fases encontradas en el material, como se puede evidenciar al llevar el material a una temperatura de austenización que es el punto mínimo necesario. Como se observa en la figura N°24.

Figura N°24

Diagrama TTT del Acero AISI 1018 y AISI 1020



Nota. Diagrama TTT de acero AISI 1018 y AISI 1020. Reproducido de (Fay, 1967)

Prototipo construido

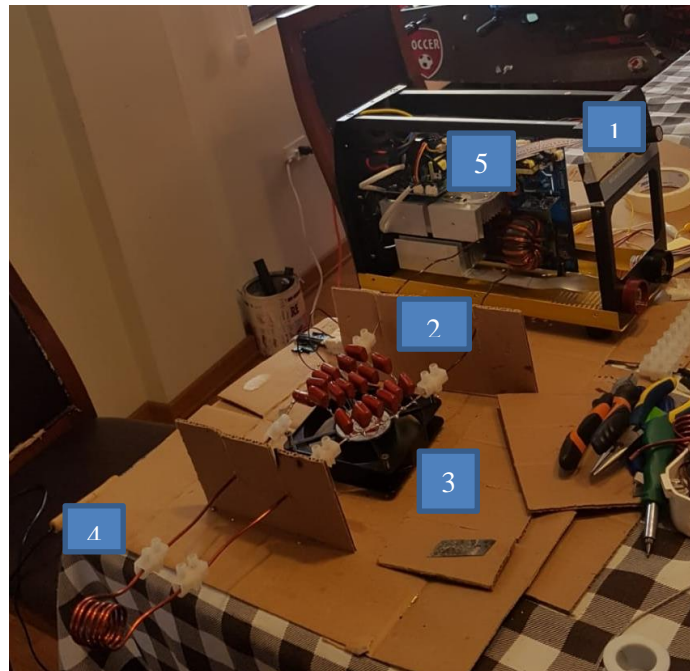
El prototipo final es compuesto por las siguientes partes:

1. Soldadora invert
2. Circuito Tanque
3. Ventilador
4. Bobina
5. Circuito para medir temperatura

Para observar cada uno de los componentes lo podemos observar en la figura N°25

Figura N°25

Prototipo Construido

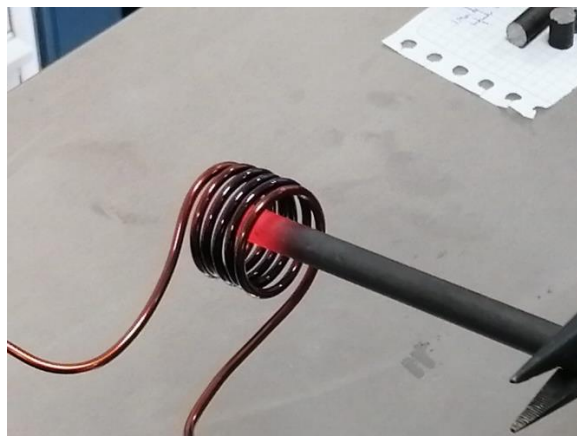


Protocolo de pruebas

Para comprobar si el dispositivo es capaz de realizar un temple superficie en tres tipos de aceros mencionados anteriormente (AISI 705, AISI 1018 y AISI 1020), se procederá a realizar ensayos de dureza y metalografía a las piezas metálicas, las cuales serán calentadas en periodos de 60segundos, 90 segundos, 120 segundos para posteriormente ser enfriadas en agua, aceite 20w50 y aire.

Figura N°26

Calentamiento por Inducción de las Piezas Metálicas



Ensayo de dureza Rockwell

El método de Rockwell aunque es un método de indentación el cual no pretende de manera directa medir la dureza del material a través de la determinación directa de la magnitud de los esfuerzos de contacto, sino que la define como un número arbitrario, inversamente proporcional a la penetración del indentador.

La norma estándar que rige el ensayo es la ASTM E 18-03 la cual define a la dureza Rockwell como un método de ensayo por indentación por la cual, con el uso de una máquina calibrada, se fuerza un indentador cónicoesferoidal de diamante o una bola de acero endurecido, bajo condiciones específicas contra la superficie del material a ser ensayado en la figura N°27 se puede observar la norma.

Figura N°27

Escala de Dureza Rockwell

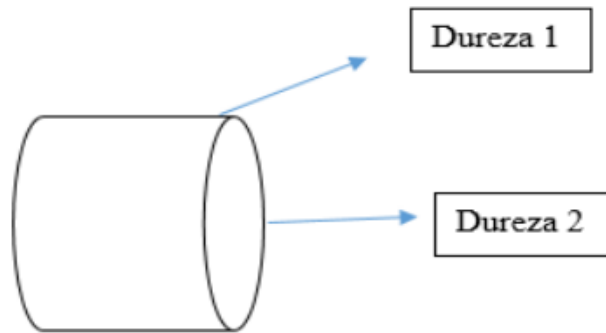
Escala	Indentador	Carga Total	Color de escala	Aplicaciones
A	Cono diamante	60	Negro	Metales duros, superficies templadas, chapa fina (<0,4 mm)
D	Cono diamante	100	Negro	Piezas con superficies templada de dureza media, chapas
C	Cono diamante	150	Negro	Aceros templados
F	Bola de ϕ 1/16"	60	Rojo	Aleaciones cobre recocido. Chapa fina metálica (>0,6 mm)
B	Bola de ϕ 1/16"	100	Rojo	Aceros blandos, de construcción, metales no ferrosos
G	Bola de ϕ 1/16"	150	Rojo	Bronce, cobre-berilio, cobre-níquel, fundición maleable
H	Bola de ϕ 1/8"	60	Rojo	Aluminio, zinc, plomo
E	Bola de ϕ 1/8"	100	Rojo	Fundición, aleaciones Al-Mg, metales antifricción o sintéticos
K	Bola de ϕ 1/8"	150	Rojo	Metales antifricción o de dureza muy baja. Ebonita (ASTM D530-59T), Madera laminada (ASTM D 805-52), Materiales sintéticos (ASTM D-785-60T), Otros materiales muy blandos o muy finos.
L	Bola de ϕ 1/4"	60	Rojo	
M	Bola de ϕ 1/4"	100	Rojo	
P	Bola de ϕ 1/4"	150	Rojo	
R	Bola de ϕ 1/2"	60	Rojo	
S	Bola de ϕ 1/2"	100	Rojo	
V	Bola de ϕ 1/2"	150	Rojo	

Nota. Norma ASTM E 18-03. Reproducido de (Calle, 2016)

Para las pruebas realizadas se utilizara una escala B y un indentador de bola de ϕ 1/16", se realizaran las pruebas en dos zonas de las probetas, en el alma y en la superficie de a pieza, como se observa en la figura N°28.

Figura N°28

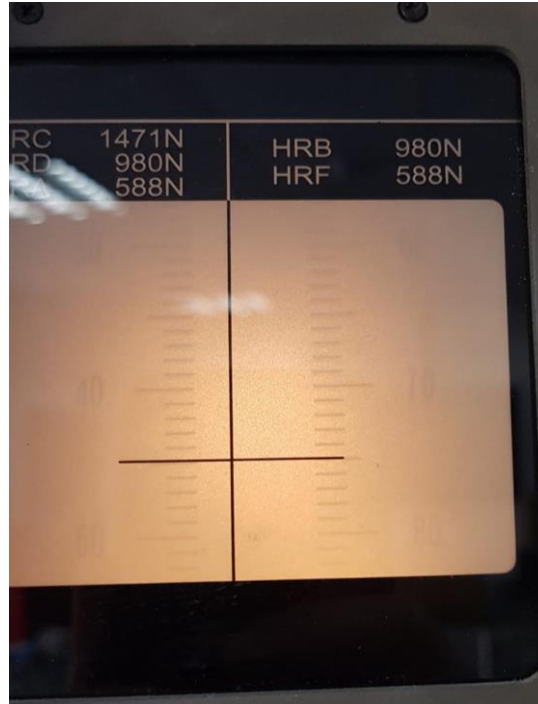
Zonas en Donde se Midió la Dureza.



En la práctica no hay necesidad de usar estas fórmulas, ya que los indicadores de las máquinas de Rockwell de manera automática realizan estas operaciones mostrando directamente el número de dureza en sus diales como se observa en la figura N°29.

Figura N°29

Máquina para Ensayos de Dureza Rockwell.



Metalografía

La metalografía es la disciplina que estudia microscópicamente las características estructurales de un metal o de una aleación, buscando microestructura, inclusiones, tratamientos térmicos a los que haya sido sometido con el fin de determinar si dicho material cumple con los requisitos para los cuales ha sido diseñado.

La norma utilizada para los ensayos metalográficos es la ASTM E-3, la cual dicta que las técnicas correctas para un análisis metalográfico son el corte, el desbastado, el ataque químico y el análisis de la muestra.

Preparación de las muestras metalográficas: La selección de las muestras es muy importante ya que debe ser representativa respecto al material de que se va analizar, en este caso se usaron ejes de 10mm y 13mm de diámetro de los tres materiales mencionados anteriormente.

Limpieza: Durante la preparación de las piezas es importante de cualquier aceite, grasas y residuos metálicos existentes deben ser removidos por solventes orgánicos.

Esmerilado y pulido: Muchas aleaciones y metales pueden ser preparados usando una secuencia similar de esmerilado y pulido. La gran diferencia estará en el pulido final.

Para este estudio el esmerilado fue efectuado frotando las probetas por varios papeles abrasivos humedecidos en agua para evitar el calentamiento por fricción, la numeración de los papeles abrasivos usados son 220, 400, 600, 1500 y 2500 respectivamente, como se puede observar en la figura N°30.

Figura N°30

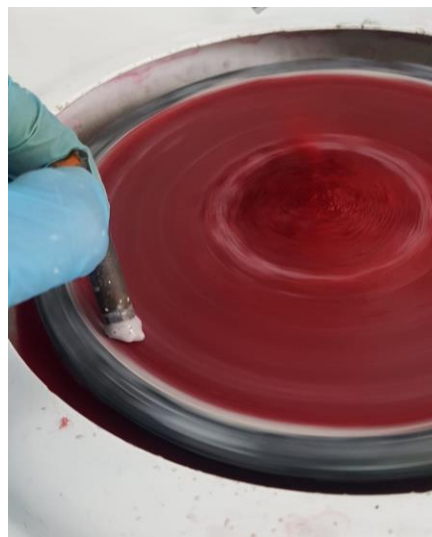
Esmerilado de las Piezas



El pulido al final se utilizó un paño especial utilizándolo en una superficie adecuadamente lubricada con agua y alúmina como se observa en la figura N°31.

Figura N°31

Pulido de las Piezas



Ataque químico: El ataque mejora el contraste en las superficies a fin de visualizar la micro o macroestructura. Normalmente se expone la cara de pieza que ha sido pulida en ácido nítrico al 2%, en este caso se tuvo el inconveniente de que no se pudo obtener el ácido

nítrico indicado, así que se optó por usar el ácido nítrico al 68% con un tiempo de exposición de 10 segundos.

Figura N°32

Ácido nítrico al 68%



Análisis de las muestras: Una vez concluidos los pasos anteriores, se procedió a usar el microscopio óptico con los diferentes aumentos X5, X10, X20, X50 respectivamente para el análisis de las probetas cilíndricas.

Resultados

Parámetros de diseño establecidos a partir de la utilización del software coil32V para la construcción de la bobina.

Con el uso del software coil32V a través de los parámetros de diseño establecidos anteriormente en el apartado del factor Q, se obtuvieron varios resultados referentes a características técnicas de la bobina, los cuales facilitarán su construcción final, dichos resultados se pueden observar en la tabla N°13.

Tabla N°13

Parámetros de Diseño de la Bobina de 27Ø

Descripción	Valor
Diámetro de la bobina	27mm
Diámetro del hilo	3mm

Diámetro del alambre con aislamiento	3mm
Paso entre espiras	3mm
Frecuencia de trabajo	25kHz
Inductancia de la bobina	0.853μH
Longitud de la bobina	21.021mm
Alambre longitud sin fines	56.6cm
Peso del alambre	35.607gr
Reactancia de la bobina (X_L)	0.134Ohm
Numero de espiras	6.007
Auto capacitancia (Cs)	0.914Pf
Frecuencia de auto resonancia de la bobina (Fsr)	92.47MHz
Constructivo Factor Q	30
Resistencia de la perdida (ESR)	0.004Ohm
Resultados adicionales para circuito LC paralelo	
Capacitancia del circuito (Ck)	47512863,631pF
Impedancia característica (ρ)	0 Ohm
Resistencia equivalente (Re)	0.004 kOhm
Ancho de banda	0.858kHz

Nota. Parámetros obtenidos del software coil32V.

Resultados del cálculo del campo magnético del toroide.

Los resultados del cálculo del campo magnético del toroide en función de la corriente que circula por el toroide y el número de vueltas se muestran en la siguiente tabla N°14.

Tabla N°14

Campo Magnético del Toroide

Voltaje de entrada	Corriente que pasa por el toroide	Numero de vueltas	Campo magnético del toroide
110V	56.72 A	23	18538.14kT
220V	26.36 A	23	8615.4kT
110V	56.72 A	25	20150kT
220V	26.36 A	25	9364.56kT

Nota. Resultados obtenidos del campo magnético del toroide.

Resultados del cálculo del campo magnético de las bobinas.

Los resultados del cálculo del campo magnético de la bobina en función de la corriente que circula y la longitud que posee, en la siguiente tabla N°15.

Tabla N°15

Campo Magnético de la Bobina

Numero de espiras	Intensidad de corriente	Longitud de la bobina	Campo magnético de la bobina
6	26.76 A	0.021021 m	$9.59 * 10^{-3}$ T
6	56.72 A	0.021021 m	0.0203 T

Nota. Resultados obtenidos del campo magnético de la bobina.

Resultados del cálculo de la densidad de la energía almacenada en el inductor.

Los resultados del cálculo de la densidad de la energía almacenada en el inductor en función de campo magnético de la bobina se puede observar en la tabla N°16.

Tabla N°16

Densidad de la Energía Almacenada en el Inductor

Campo magnético	Densidad de la energía almacenada en el inductor
$9.59 * 10^{-3}$ T	3817.67 J/m ³
0.0203 T	8081.21 J/m ³

Nota. Resultados obtenidos de la densidad de la energía almacenada en el inductor.

Resultados del cálculo de la energía del inductor.

Los resultados del cálculo de la energía del inductor en función del amperaje y la longitud de la bobina se puede observar en la tabla N°17.

Tabla N°17

Energía del Inductor

Longitud de la bobina	Amperaje	Energía del inductor
0.021021 m	26.36 A	0.277J
0.021021 m	56.72 A	0.596J

Nota. Resultados obtenidos de la energía del inductor.

Resultados de la resistencia total del alambre.

Los resultados del cálculo de la resistencia total del alambre en función de la longitud que este posee se puede observar en la tabla N°18.

Tabla N°18

Resistencia Total del Alambre

Longitud del alambre sin fines	Resistencia del alambre	Resistencia total del Alambre
0.566m	$1.378 * 10^{-3} \Omega$	110.17 Ω

Nota. Resultados obtenidos de la resistencia eléctrica del alambre.

Calculo de la potencia disipada por la bobina.

Los resultados del cálculo de la potencia que disipa la bobina en función de la corriente y la resistencia del cable se puede observar en la tabla N°19.

Tabla N°19

Potencia Disipada por la Bobina

Amperaje	Resistencia total	Potencia disipada por la bobina
26.36 A	110.17 Ω	76551.58W
56.72 A	110.17 Ω	354434.34W

Nota. Resultados obtenidos de la potencia de la bobina.

Calculo de la energía disipada por la bobina.

Los resultados del cálculo de la energía que disipa la bobina en función de la potencia y el tiempo de exposición de la pieza se puede observar en la tabla N°20.

Tabla N°20

Energía Disipada por la Bobina

Potencia	Tiempo	Energía disipada
76551,58 W	60 seg	4593094,8 J
76551,58 W	90 seg	6889642,2 J
76551,58 W	120 seg	9186189,6 J
354434,34 W	60 seg	21266060,4 J

354434,34 W	90 seg	31899090,6 J
354434,34 W	120 seg	42532120,8 J

Nota. Resultados obtenidos de la energía disipada por la bobina.

Resultados de los ensayos de dureza Rockwell

Las pruebas se realizaron en un total de 23 probetas y se tomaron 5 medidas tanto del alma como de la superficie de la pieza, se caculo un promedio de dichas medidas para llegar a un aproximado de su dureza total. A continuación se muestra las probetas que obtuvieron los mejores resultados al ser templadas.

Tabla N°21

Prueba de Dureza del Acero AISI 1020 sin Templar

Probeta cilíndrica de 10mm de Ø de acero AISI 1020 sin templar	
Alma HRB	Superficie HRB
84	88
88	85
87	83
88	85
85	88
PROMEDIO: 86.4	PROEMDIO: 85.8
Desviación estándar: 1.8165	Desviación estándar: 2.1679

Nota. Resultados obtenidos de las pruebas de dureza del AISI 1020.

Tabla N°22

Prueba de Dureza del Acero AISI 1020 Aplicado Tratamiento Térmico

Probeta cilíndrica de 10mm de Ø de acero AISI 1020 Calentado 2min y enfriado por agua	
Alma HRB	Superficie HRB
90	90
89	87
88	86
88	87
90	88
PROMEDIO: 89	PROMEDIO: 87.6
Desviación estándar: 1	Desviación estándar: 1.5165

Nota. Resultados obtenidos de las pruebas de dureza del AISI 1020.

Tabla N°23

Prueba de Dureza del Acero AISI 1018 sin Templar

Probeta cilíndrica de 10mm de Ø de acero AISI 1018 sin templar	
Alma HRB	Superficie HRB
91	87
90	90
87	91
91	90
91	91
PROMEDIO: 90	PROMEDIO: 89.8
Desviación estándar:1,7320	Desviación estándar: 1,6431

Nota. Resultados obtenidos de las pruebas de dureza del AISI 1018.

Tabla N°24

Prueba de dureza de Acero AISI 1018 Aplicado Tratamiento Térmico

Probeta cilíndrica de 10mm de Ø de acero AISI 1018 Calentado 2min y enfriado por agua	
Alma HRB	Superficie HRB
91	92
93	92
91	91
95	95
94	90
PROMEDIO: 92.8	PROMEDIO: 92
Desviación estándar:1,7888	Desviación estándar:1,8708

Nota. Resultados obtenidos de las pruebas de dureza del AISI 1018.

Tabla N°25

Prueba de dureza de Acero AISI 1018 Aplicado Tratamiento Térmico

Probeta cilíndrica de 10mm de Ø de acero AISI 1018 Calentado 2min y enfriado por aceite	
Alma HRB	Superficie HRB
92	92
93	92
94	91
94	95
93	90
PROMEDIO: 93.2	PROMEDIO: 92
Desviación estándar:0,8366	Desviación estándar:1,8708

Nota. Resultados obtenidos de las pruebas de dureza del AISI 1018.

Tabla N°26

Prueba de Dureza de Acero AISI 705

Probeta cilíndrica de 13mm de Ø de acero AISI 705 sin templar	
Alma HRB	Superficie HRB
90	90
94	90
93	90
92	92
93	93
PROMEDIO: 92.4	PROMEDIO: 91
Desviación estándar:1,5167	Desviación estándar:1,4142
En este caso no se obtuvo cambios de dureza con ningún tipo de enfriamiento ni tiempo de calentamiento	

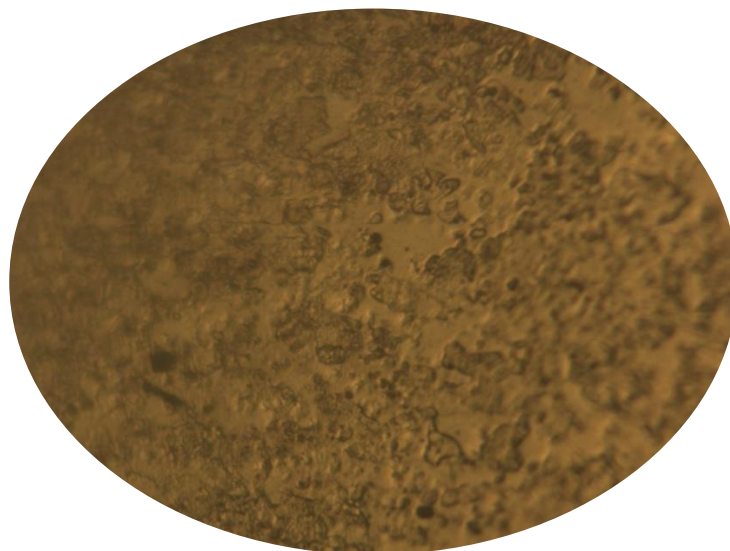
Nota. Resultados obtenidos de las pruebas de dureza del AISI 705.

Resultados del ensayo metalográfico

En el caso de la metalografía, el microscopio utilizado para esta prueba es un microscopio óptico adaptable con aumentos de lente 5x, 10x, 20x, y 50x y junto con el software se pudieron obtener las imágenes que se podrán observar a continuación.

Figura N°33

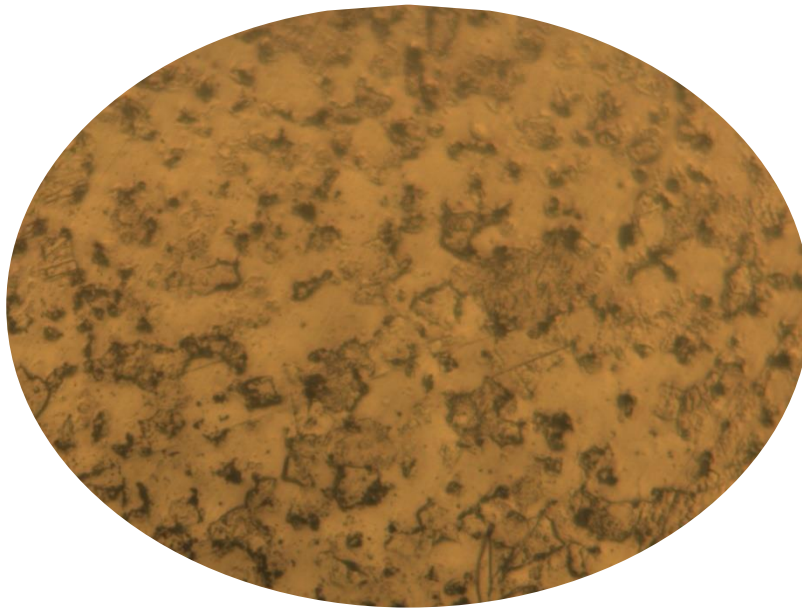
Imagen X10 del Acero AISI 1020 sin Tratamiento Térmico.



En la figura N°33 se puede observar a probeta del acero AISI 1020 sin templar, las áreas claras son ferrita, se tomara esta imagen como referencia para comparar las demás probetas tras tratamiento térmico.

Figura N°34

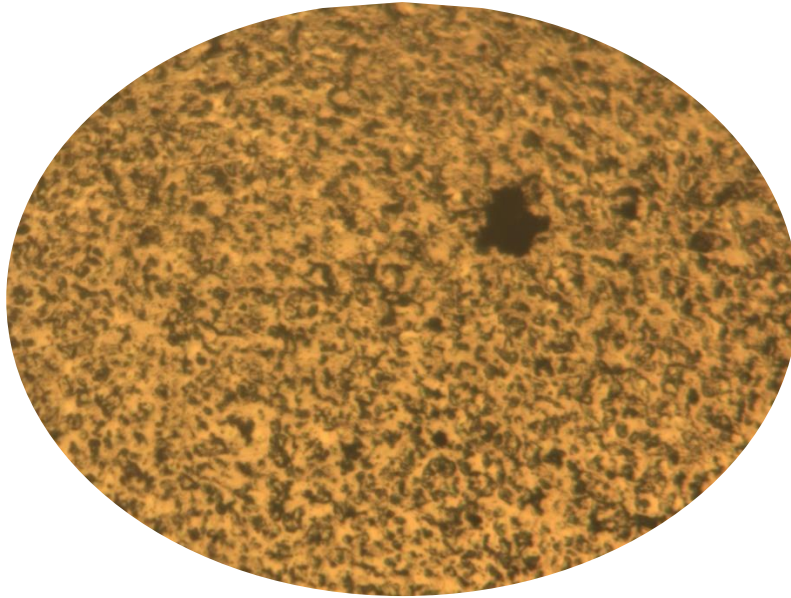
Imagen X10 del Acero AISI 1020 Calentado por 2min y Enfriado por Agua.



En este caso en la figura N°34 se puede observar a probeta de acero AISI 1020 tras someterla al temple, se puede observar un incremento en el tamaño del grano significativo, la zonas claras son la ferrita del acero y las áreas más oscuras son perlita.

Figura N°35

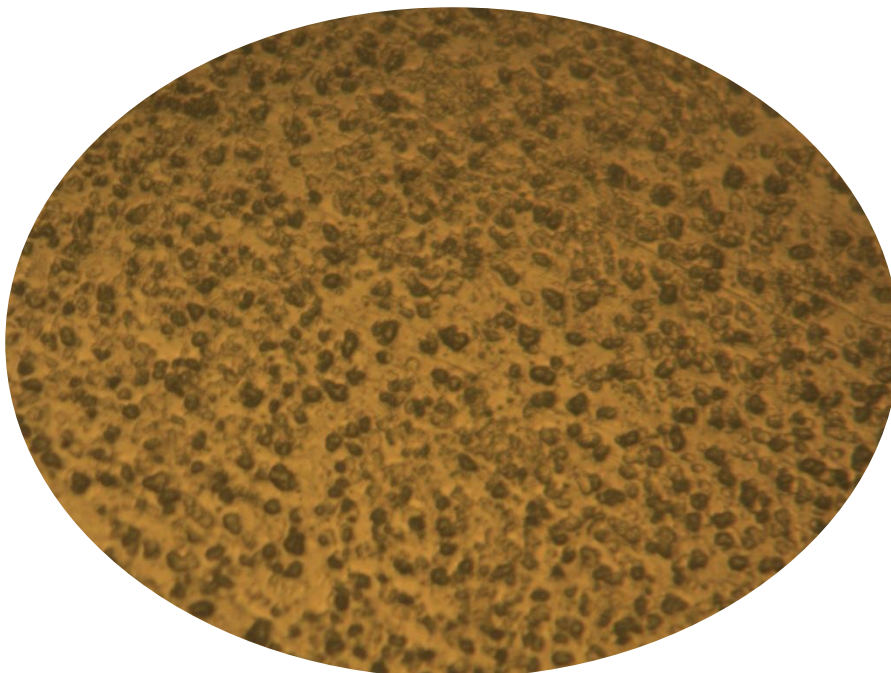
Imagen X10 del Acero AISI 1018 sin Tratamiento Térmico.



Para la figura N°35 se puede observar al acero AISI 1018 sin recibir ningún tratamiento previo **podemos** observar que el grano de ferrita es similar a la anterior pero más fina, además de existe mayor presencia de perlita.

Figura N°36

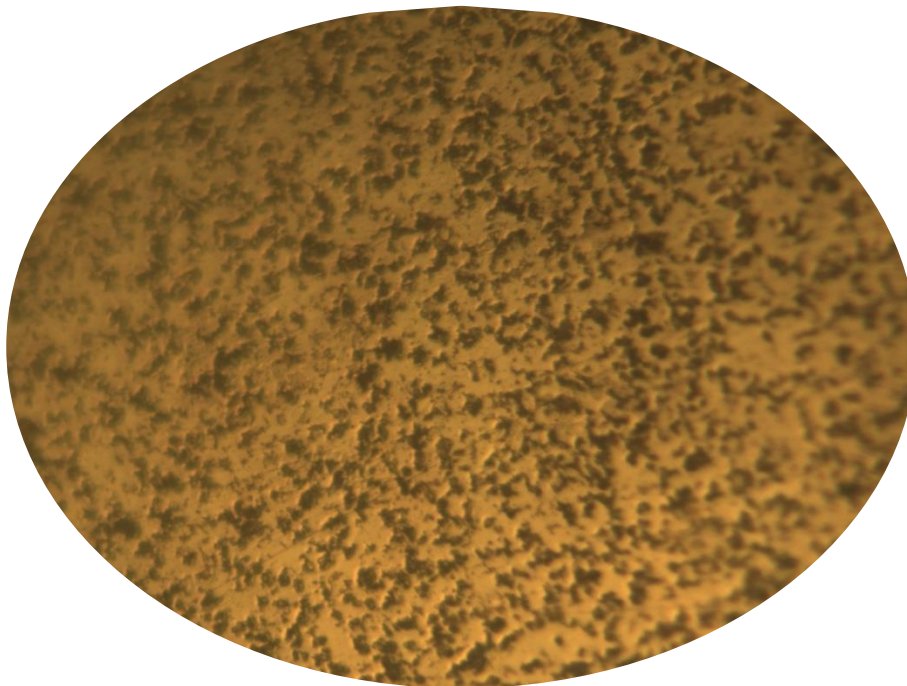
Imagen X10 del Acero AISI 1018 Calentado por 2min y Enfriado por Agua.



En la figura N°36 se puede observar un cambio en el tamaño del grano, el grano tras recibir el tratamiento térmico incremento el tamaño del grano y se observa mucho mejor las fronteras de ferrita en la estructura del acero.

Figura N°37

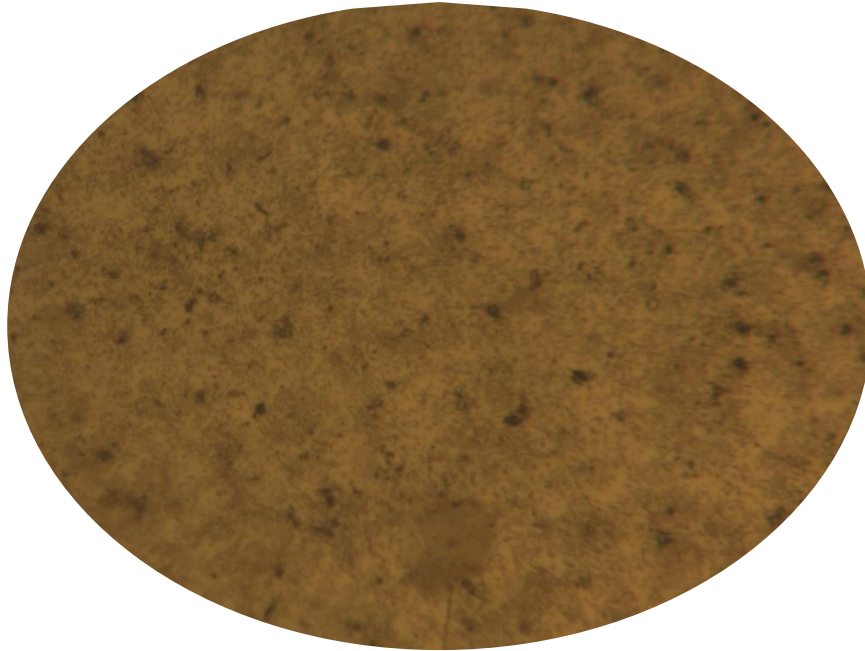
Imagen X10 del Acero AISI 1018 Calentado por 2min y Enfriado por Aceite



En la figura N°37 una estructura similar a la anterior figura solo que en este caso las zonas de ferrita se ven de un tamaño mucho mayor a la anterior.

Figura N°38

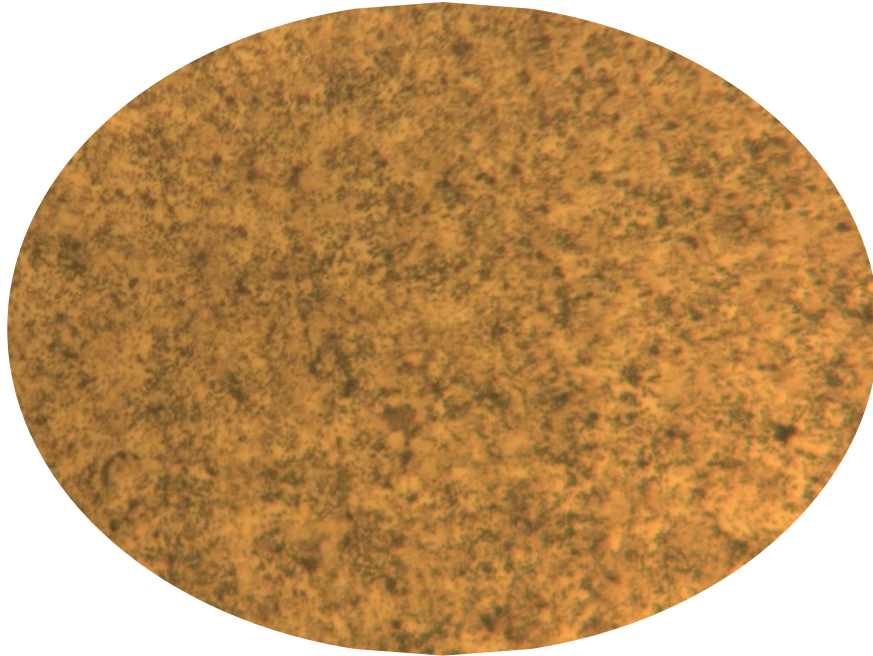
Imagen X20 del Acero AISI 705 sin Tratamiento Térmico.



Para el acero AISI 705 sin tratamiento térmico el cual podemos observar en la figura 38 se puede observar que es una estructura lisa sin un tamaño de grano muy definido en comparación al Acero AISI 1018 y al AISI 1020.

Figura N°39

Imagen X20 del Acero AISI 705 Calentado por 2min y Enfriado por agua.



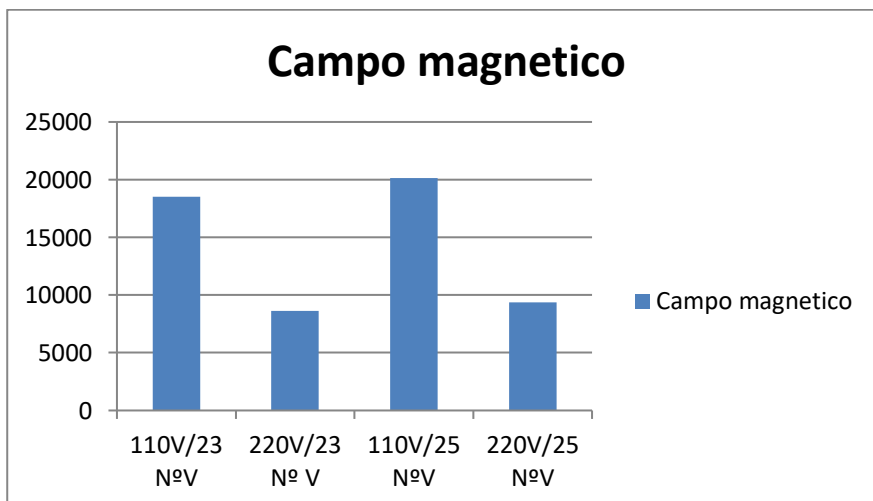
Como se puede observar en la figura N°39 no se ve un cambio en el tamaño de grano tras aplicar el tratamiento térmico, la estructura en general no sufrió cambios significativos con ningún tiempo de calentamiento o método de enfriamiento.

Análisis de los resultados

Análisis del campo magnético del toroide.

Figura N°40

Análisis de los Valores del Campo Magnético del Toroide



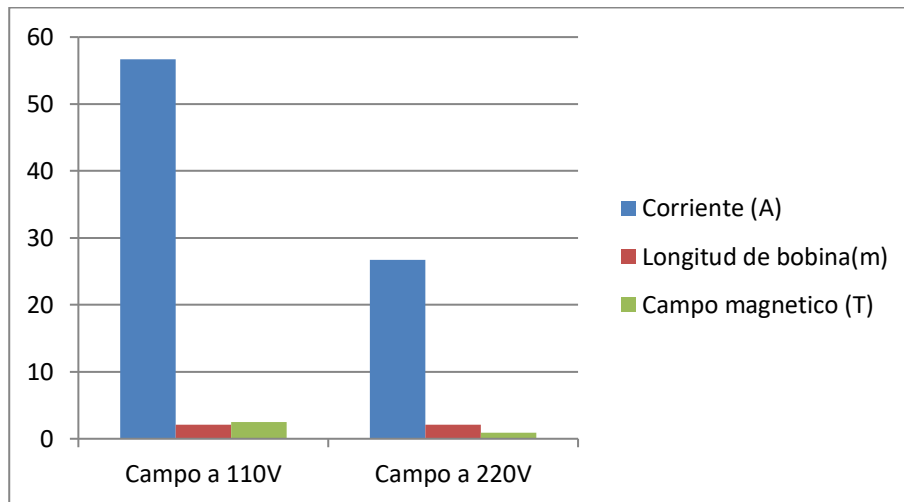
En la Figura N°40 se puede observar dos aspectos importantes, primero que al conectar a máquina a 110V circula mayor corriente por el toroide esto provoca que el campo magnético producido por este sea mayor en comparación si la maquina está conectada a 220V, también se puede apreciar que al agregar dos vueltas más al toroide este de igual manera aumenta su campo magnético.

Se puede deducir a través de la Figura N°40 que para aprovechar el máximo potencial de la maquina es mejor trabajar en 110V y con la adaptación de vueltas al toroide para obtener un mayor campo magnético.

Análisis del campo magnético de las bobinas.

Figura N°41

Análisis de los Valores del Campo Magnético de la Bobina



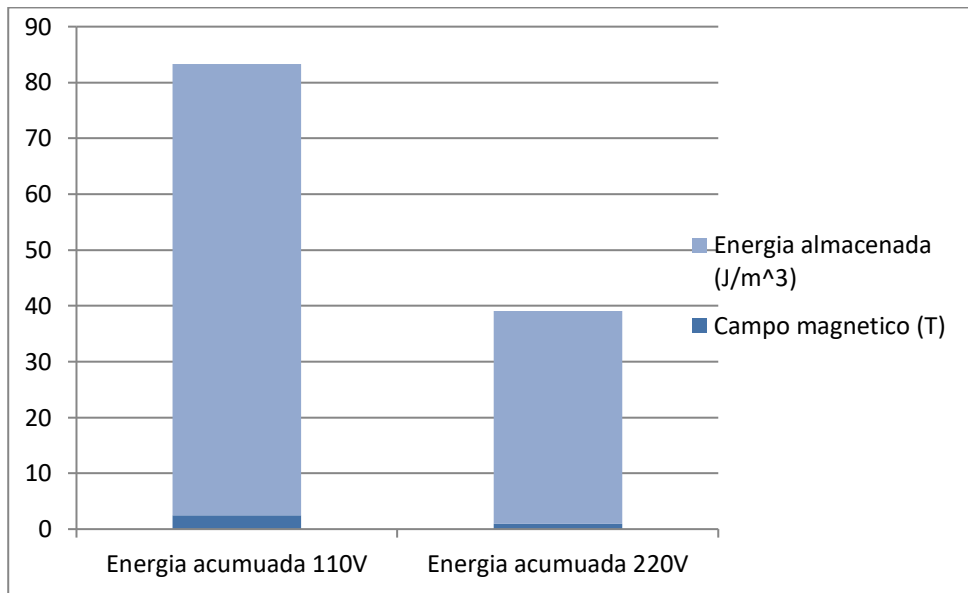
Se puede observar en la FiguraN°41 que al circular una corriente alterna por la bobina esta producirá un campo magnético, entre mayor sea la corriente que circula por el inductor mayor será el campo magnético que producirá en el inductor.

La FiguraN°41 muestra que entre mayor la corriente mayor será campo magnético como dicta la ley de ampere, entre mayor sea el campo magnético la piezas que estén dentro del campo magnético se calentaran en menor tiempo.

Análisis de la densidad de la energía almacenada en el inductor.

Figura N°42

Análisis de la Densidad de la Energía Almacenada en el Inductor.

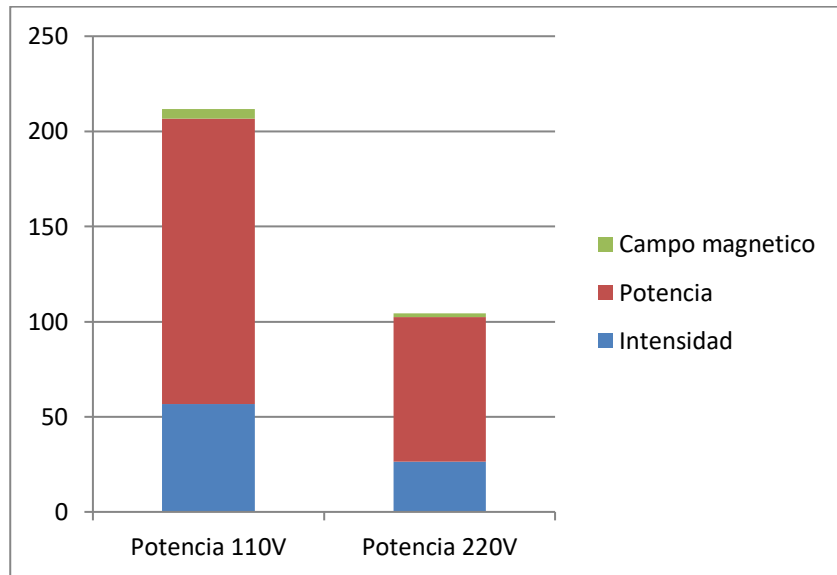


Esta densidad representa la cantidad de energía acumulada en una material dada en una región del espacio por unidad de volumen en un punto, en este caso la bobina de inducción calienta la pieza en un punto específico y este calor se expande lentamente a lo largo de la pieza, esto está ligado a la magnitud del campo magnético producido por la bobina inductora, entre mayor sea la magnitud del campo magnético producido mayor será la densidad de energía que la bobina puede transferir a la pieza como se observa en la figuraN°42.

Análisis de la potencia disipada por la bobina.

Figura N°43

Análisis de la Potencia Disipada por la Bobina



En el caso de la potencia se puede observar que será mayor a 110V por la mayor intensidad de corriente que proporciona, este incremento de potencia se resume a una mayor cantidad de energía disipada por el dispositivo inductor, en la figura N°43 se puede observar la comparación entre ambas potencias obtenidas.

Prueba de funcionamiento del dispositivo.

En la figura N°44 se puede observar una prueba de funcionamiento de la maquina en donde se puede observar el máximo de temperatura alcanzada cuando la maquina está conectada 110V fue de 750°C aproximadamente y en la figuraN°45 se observa que la temperatura alcanzada en 220V fue de 730°C aproximadamente, de esta manera se puede observar a disipación de energía en cada uno de los casos.

Figura N°44

Prueba de Funcionamiento de la Máquina en 110V



Figura N°45

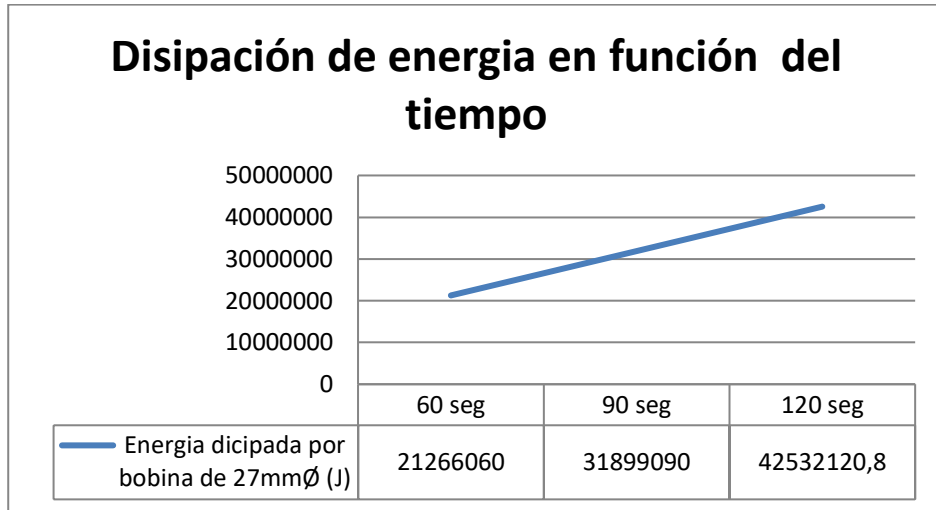
Prueba de Funcionamiento de la Máquina en 220V



Análisis de la disipación de la energía en función del tiempo.

Figura N°46

Análisis de la Disipación de la Energía en Función del Tiempo

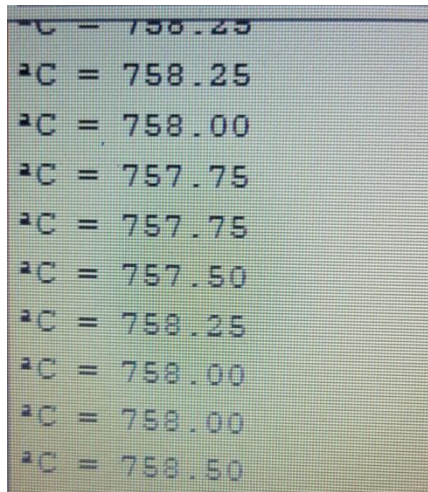


Como ya se pudo constatar el dispositivo inductor posee un mejor desempeño al estar conectada a 110V por lo tanto las pruebas de temple se realizarán con este voltaje, así mismo se realizó una gráfica que se puede observar en la FiguraN°46, en la cual se analiza la variación de la disipación de energía en la bobina en ciertos periodos de tiempo específicos, dando como que resultado que entre mayor sea tiempo de exposición de las probetas al campo magnético variable de la bobina mayor será la energía disipada hacia dicha pieza.

Para poder constatar este análisis se procedió a realizar una prueba de funcionamiento del dispositivo, dejando que la termocupla recolectara datos por un lapso de dos minutos de funcionamiento continuo, dando como resultado un cierto número de valores que fueron variando hasta llegar al tope de 758.50°C como se muestra en la figura N°47.

Figura N°47

Prueba de Temperatura vs Tiempo



Análisis de las pruebas de dureza.

Tabla N°27

Análisis de los Resultados de Dureza del AISI 1020.

Probeta sin templar-AISI 1020	Probeta con temple-AISI 1020 2min calentamiento y enfriado por agua
Dureza alma: 86.4 HRB	Dureza alma: 89 HRB
Dureza superficie: 85.8 HRB	Dureza superficie: 87.6 HRB

Nota. Análisis de las pruebas de dureza del AISI 1020.

Con los resultados obtenidos se demuestra el aumento de dureza del acero AISI 1020 de un 3% desde su estado inicial hasta recibir su tratamiento térmico.

Tabla N°28

Análisis de los Resultados de Dureza del AISI 1018.

Probeta sin templar-AISI 1018	Probeta con temple-AISI 1018 Calentado 2min y enfriado por agua
Dureza alma: 90 HRB	Dureza alma: 92.8 HRB
Dureza superficie: 89.8 HRB	Dureza superficie: 92 HRB
Probeta sin templar-AISI 1018	Probeta con temple-AISI 1018 Calentado 2min y enfriado por aceite
Dureza alma: 90 HRB	Dureza alma: 93.2 HRB
Dureza superficie: 89.8 HRB	Dureza superficie: 92 HRB

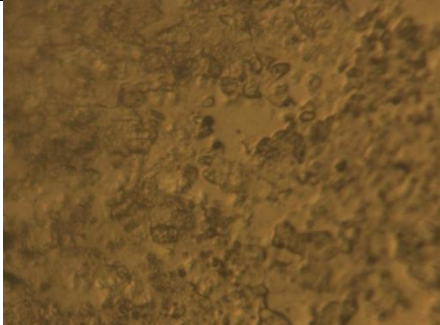
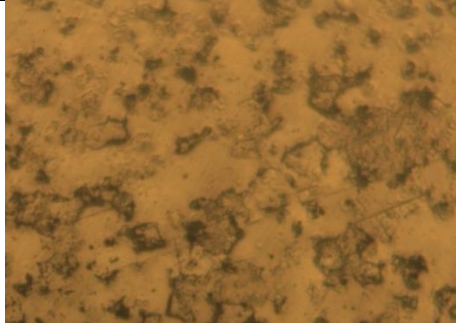
Nota. Análisis de las pruebas de dureza del AISI 1018

Con los resultados obtenidos se demuestra el aumento de dureza del acero AISI 1018 de un 3,1% cuando se emplea enfriamiento por agua y un aumento de dureza del 3.5% cuando se enfría con aceite.

Análisis del ensayo metalográfico

Tabla N°29

Análisis Metalográfico del Acero AISI 1020 Calentado por 2min y Enfriado por Agua.

AISI 1020 sin tratamiento térmico.	AISI 1020 aplicado tratamiento térmico. Calentado 2min y enfriado por agua al instante
	

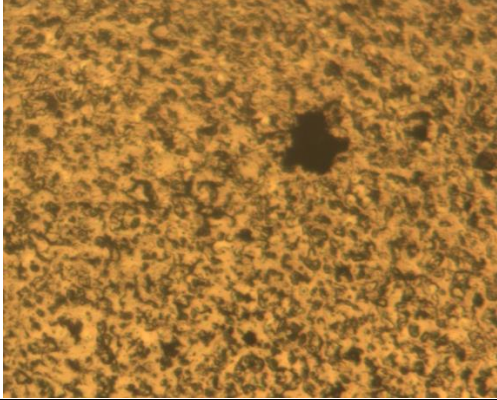
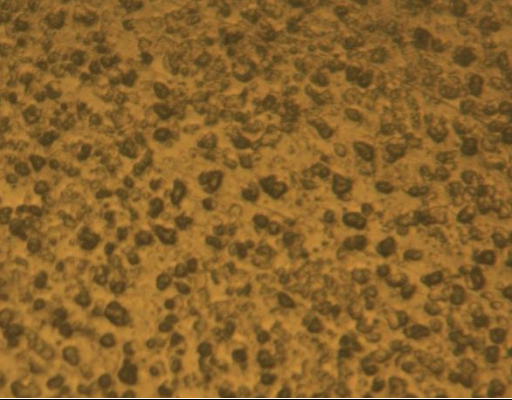
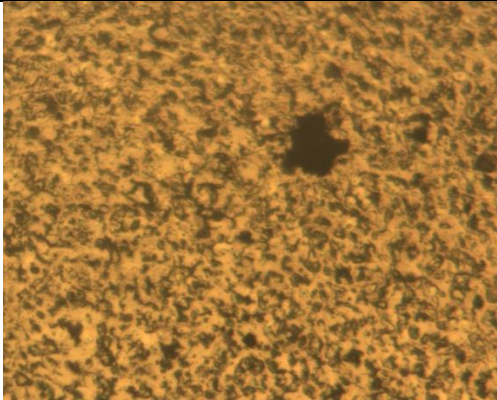
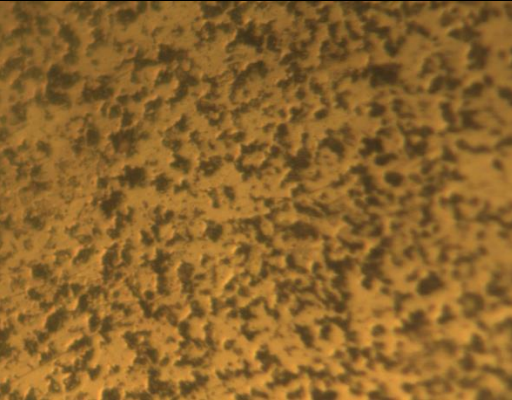
Nota. Análisis de las pruebas de metalografía del AISI 1020

La metalografía realizada nos muestra diferentes comportamientos de la estructura en acero en este caso podemos observar un aumento del grano por el tiempo de calentamiento y el tipo de enfriamiento al cual fue expuesto.

Tabla N°30

Análisis Metalográfico del Acero AISI 1018 Calentado por 2min y Enfriado por Agua y Aceite.

AISI 1018 sin tratamiento térmico.	AISI 1018 aplicado tratamiento térmico. Calentado 2min y enfriado por agua al instante

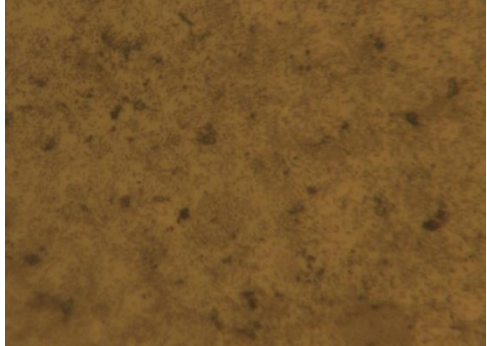
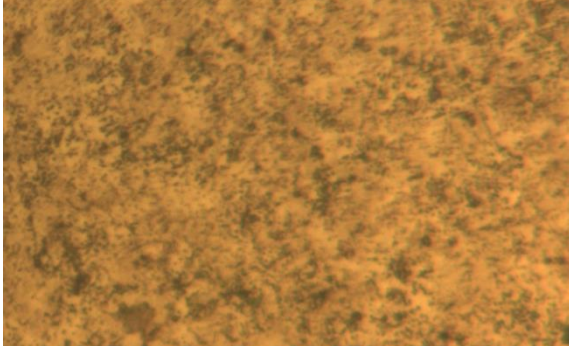
			
<p>AISI 1018 sin tratamiento térmico.</p>		<p>AISI 1018 aplicado tratamiento térmico. Calentado 2min y enfriado por aceite durante 5min</p>	
			

Nota. Análisis de las pruebas de metalografía del AISI 1018

Desde el punto de vista estructural se puede observar dos cosas, primero es que en ambos casos existe aumento del tamaño de grano, segundo se puede observar que se forman más retención de austenita en el enfriamiento del aceite que en el de agua.

Tabla N°31

Análisis Metalográfico del Acero AISI 705 Calentado por 2min y Enfriado por agua

AISI 705 sin tratamiento térmico.	AISI 705 aplicado tratamiento térmico. Calentado 2min y enfriado por agua al instante
	

Nota. Análisis de las pruebas de metalografía del AISI 705

La metalografía realizada nos muestras que no existió un cambio significativo a nivel estructural en este caso.

Conclusiones

En conclusión, se puede evidenciar que, tras realizar el diseño y construcción de un prototipo calentador por inducción electromagnética tomando como base una soldadora invert se pudo obtener un incremento en la dureza superficial de un 3% en las piezas cilíndricas de acero AISI 1018, AISI 1020.

Al aplicar el método de temple por inducción se pudo observar que el proceso fue mucho más eficiente debido a los cortos tiempos calentamiento de las piezas, además se comprobó de que el temple por inducción es un método seguro ya en ningún momento se tuvo contacto directo con las pieza y que no se necesita tener experiencia preveía o habilidad para usar el dispositivo de forma óptima.

Adicionalmente se pudo observar que en el caso del AISI 705 no hubo cambios de dureza y tampoco estructural ya que el dispositivo no poseía la potencia suficiente para alcanzar los 815 °C necesarios para que este tipo de acero llegue a la fase de austenización.

Se observó que el aumento gradual de la dureza dependiendo del tipo de enfriamiento usado sobre el acero, pudimos comprobar que la dureza del acero obtuvo mejores resultados enfriando las probetas con agua y aceite que enfriando las probetas por aire, esto implica que el tiempo de enfriado supone que es uno de los principales contribuyente para el tipo de microestructura correspondiente para los tratamientos térmicos ya que al enfriar un material a una velocidad superior a la crítica de temple, la austenita se transforma en martensita, si la velocidad de temperatura es menor como es el caso de enfriamiento por aire no se obtendrá una totalmente martensítica

El ensayo de dureza Rockwell fue de mucha ayuda para el desarrollo de la investigación ya que muestra resultados claros que son fáciles de interpretar. Durante el desarrollo de estos ensayos se tuvo la incertidumbre en cuanto los valores del ensayo de dureza por motivos de calibración, pero aun así se pudo llevar a cabo todo el proceso con éxito y obtener una dureza promedio obtenido de las 5 mediciones tomadas en el alma y superficie de la pieza respectivamente.

Los resultados al comparar las probetas desde su estado base y después del tratamiento térmico se pudo observar una capa superficial martensítica en el microscopio óptico, el procedimiento fue realizado cumpliendo la norma de la ASTM E-3. Con estos resultados aseguramos la eficiencia del equipo ya que alcanzo una temperatura de tratamiento térmico adecuada para el acero AISI 1018 y AISI1020.

Recomendaciones

Dentro de los procesos de manufactura resulta favorable cambiar las técnicas de manufactura convencional por las técnicas de manufactura moderna (calentamiento por inducción electromagnética) puesto que se ha demostrado que el calentamiento es rápido y a

la vez seguro.

Para el control de temperatura se recomienda utilizar la termocupla tipo K porque arroja mediciones aceptables por la falta de equipos de medición confiables según las experiencias pasadas

Este prototipo fue adaptado con una soldadora por los recursos económicos limitados que se tenía disposición, en este caso es importante resaltar que se debe usar una soldadora inverter para este tipo de dispositivo por el uso de transformadores toroidales.

Se recomienda realizar un buen trabajo de corte y pulido en la preparación de las probetas para realizar los ensayos metalográficos para evitar imágenes borrosas en el microscopio óptico.

También es importante recalcar que al usar una soldadora como base de transformador no se debe exceder el número de vueltas en el toroide con un máximo de 2 vueltas y el uso de alambre esmerilado de 2mm de diámetro se obtuvieron excelentes resultados, si se da un mayor número de vueltas al toroide no se obtendrá una mayor potencia además la soldadora se verá forzada más allá de su capacidad y podría arruinar el dispositivo

Bibliografía

- Alfredo, J., Ordorez, B., Pazmin, D. G., Wilson, J., Escobar, G., Rojas, E. M., Universitaria, C., Noma, A., Ingenierias, D. D. E., Electrica, P. D. E. I., & Mecanica, P. D. E. I. (n.d.). *Diseño y Construcción de un Horno de Inducción para fundición de Acero y Temple de Metales.*
- Fay, D. L. (1967). 濟無No Title No Title No Title. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.
- Gide, A. (1967). 濟無No Title No Title No Title. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 5–24.
- Guamán, J., Guevara, D., & Ríos, A. (2015). Evolución histórica de los circuitos electrónicos de inducción magnética. *Maskana*, 0(0), 75–87.
- Litalien, D., Guay, F., Geoffrion, S., Giguère, C.-É., Fortin, M., Fortin, C., Guay, S., Ducharme, F., Lévesque, L., Caron, C. D., Hanson, E., Magnusson, L., Nolan, J., Nolan, M., Manzo, G., St-onge, S., Renaud, S., Guérin, G., Plard, M., ... Kryvor, Y. (2011). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title. *Arbitration Brief*, 2(1), 2071–2079.
- <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22174227%0Ahttp://www.transnational-dispute-management.com/article.asp?key=454%0Ahttps://litigation-essentials.lexisnexis.com/webcd/app?action=DocumentDisplay&crawlid=1&doctype=cite&docid=43+Tex.+Tech+L.+Rev.+757&srctype=smi>
- Perez, J. A. (1996). Tratamientos térmicos de los aceros. *Universidad Autónoma de Nuevo Leon*, 1. <http://libroelectronico.uaa.mx/capitulo-12-otras-vias/estructura-y-funcion-del.html>
- Rodriguez, F. J., Boccardo, A. D., Dardati, P. M., Carazob, F. D., Celentano, D. J., & Godoy, L.

A. (2015). *Investigación e Implementación del Mecanismo de Temple por Inducción*.

http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/1390/1/Jorquera_SanMartin_Gustavo_Andres.pdf

Universidad autónoma de nuevo león. (2016).

WINDER, G. (2008). *Diseño Y Construcción De Bobina De Calentamiento Por Inducción Para Fundición De Titanio*. 1–71. <http://159.90.80.55/tesis/000140657.pdf>

M. O. S. BALTAZAR, “CALENTAMIENTO DE METALES POR MEDIO DE INDUCCIÓN

ELECTROMAGNÉTICA Y, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2014.

J. A. BARREIRO, Tratamientos térmicos de los aceros, Madrid España , 1 9 4 9.

Alba Cuenca, Mariano. Preestudio para el desarrollo de un equipo de calentamiento por inducción.

W. Gonzalez, Diseño Y Construcción De Bobina De Calentamiento Por Inducción Para Fundición De Titanio, Caracas (Venezuela), 2008

C. CHARLY ENRIQUE, «CRITERIOS DE DISEÑO EN LA GENERACIÓN DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA PARA CALENTADORES DE 100 KW PARA APLICACIÓN INDUSTRIAL,» HUANCAYO-PERU, 2011

V. E. Gómez, Influencia de los Componentes Parásitos en el Análisis y Diseño de Inversores Resonantes Paralelo para Aplicaciones de Calentamiento por Inducción, Valencia: UNIVERSITAT DE VALÈNCIA , 1999.

M. P. Groover, FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA, México: Mexicana, Reg. Núm. 736, 2007.

W.Smith, Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales, Nueva York: McGrawHill Education, 1988.

J. A. BARREIRO, Tratamientos térmicos de los aceros, Madrid España , 1 9 4 9.

N. M. P. Alfredo Güemes Gordo, Ciencia de Materiales para Ingenieros, Madrid España: P E A R S O N E D U C A C I Ó N . S A . , 2012.

C. A. Keyser, Ciencia de materiales para Ingeniería, México: Limusa, 1992. }

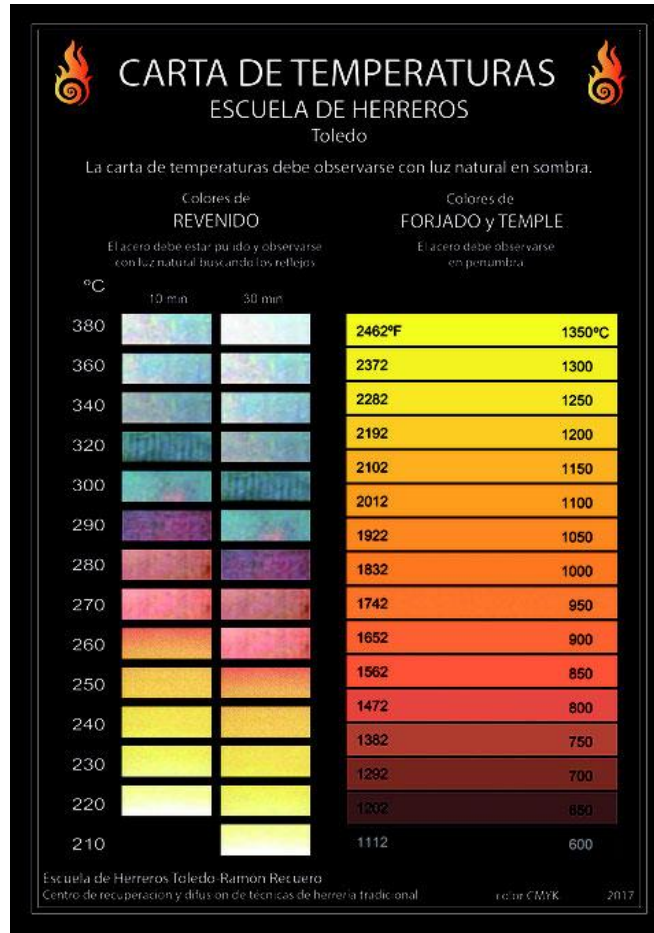
W. M. Edward Tobolski, «STANDARDIZATION NEWS,» ASTM Standardization News, Junio 2010. [En línea]. Available:

https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPMJ10/e0405_spmj10.html. [Último acceso: 03 Noviembre 2018].

M. M. Arias, «Normas ASTM aplicadas a la dureza Brinell, Rockwell y Vickers,» 2015

Anexos

Anexo N°1: Guía de temperatura del acero según el color de la superficie.



Anexo N°2: Datasheet del Max6675.

EVALUATION KIT AVAILABLE

Click [here](#) to ask about the production status of specific part numbers.

MAX6675

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

General Description

The MAX6675 performs cold-junction compensation and digitizes the signal from a type-K thermocouple. The data is output in a 12-bit resolution, SPI-compatible, read-only format.

This converter resolves temperatures to 0.25°C, allows readings as high as +1024°C, and exhibits thermocouple accuracy of 8 LSBs for temperatures ranging from 0°C to +700°C.

The MAX6675 is available in a small, 8-pin SO package.

Applications

- Industrial
- Appliances
- HVAC

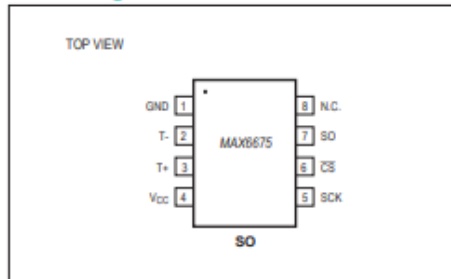
Features

- Direct Digital Conversion of Type -K Thermocouple Output
- Cold-Junction Compensation
- Simple SPI-Compatible Serial Interface
- 12-Bit, 0.25°C Resolution
- Open Thermocouple Detection

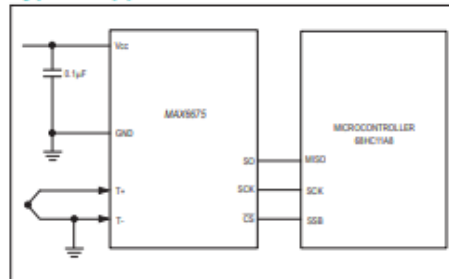
Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX6675ISA	-20°C to +85°C	8 SO

Pin Configuration



Typical Application Circuit



Anexo N°3: Código del sensor de temperatura.

```

include "LiquidCrystal.h"
include "max6675.h"

/ CONFIGURACION DE LOS PINES UTILIZADOS PARA LA COMUNICACIÓN CON EL MAX6675

define CONFIG_TCCK_PIN    13 // SPI SCK
define CONFIG_TCCS_PIN    11 // SPI CS
define CONFIG_TCDO_PIN    9  // SPI SO

/ CONSTRUCTOR PARA LA PANTALLA LCD 16X2
/ AQUI SE CONFIGURAN LOS PINES PARA LA COMUNICACION CON LA PANTALLA
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);
/ OBJETO UTILIZADO PARA LA COMUNICACION CON EL MAX6675
MAX6675 thermocouple(CONFIG_TCCK_PIN, CONFIG_TCCS_PIN, CONFIG_TCDO_PIN);

void setup() {
  // PREPARAR LA INTERFAZ SERIAL
  Serial.begin(9600);

  // IMPRIMIR MENSAJE INICIAL A LA TERMINAL
  Serial.println(F("-----"));
  Serial.println(F("      SENSOR DE TEMPERATURA MAX6675 CON ARDUINO      "));
  Serial.println(F(""));
  Serial.println(F("-----"));

  // INDICAMOS QUE TENEMOS CONECTADA UNA PANTALLA DE 16X2
  // IMPRIMIR MENSAJE INICIAL EN PANTALLA
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.clear();
  lcd.print(F("TERMOPAR ARDUINO"));
  lcd.setCursor( 0, 1 );
  lcd.print(F("  CON MAX6675  "));

  // ESPERAR UN SEGUNDO
  delay(1000);
}

void loop() {
  // LEER EL TERMOPAR Y ALMACENAR EL VALOR EN UNA VARIABLE
  double t = thermocouple.readCelsius();

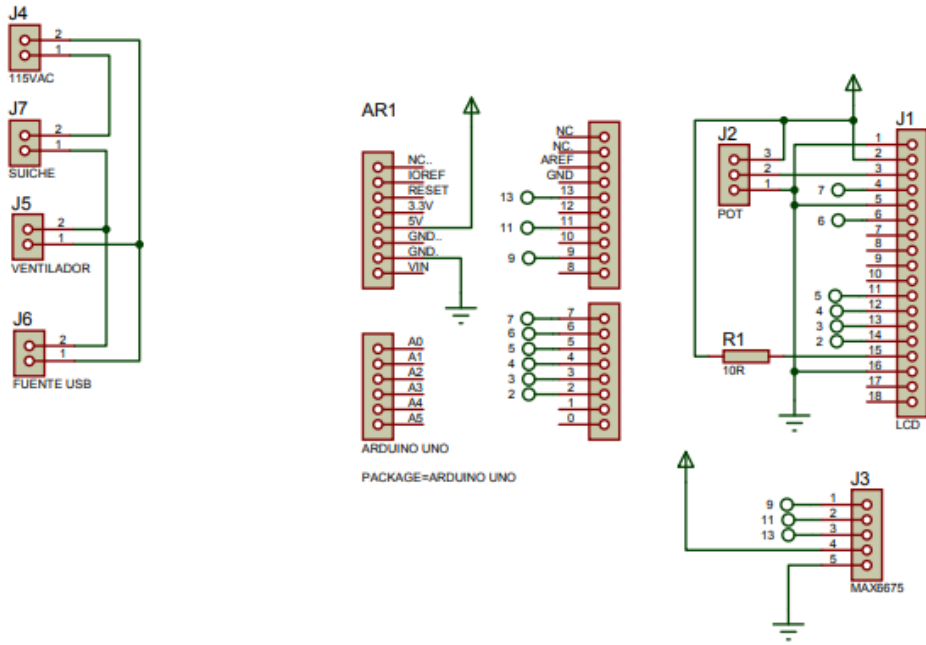
  // PRIMERO LIMPIAMOS LA PANTALLA Y LUEGO IMPRIMIMOS LA TEMPERATURA
  lcd.clear();
  lcd.print(F(">TEMPERATURA<"));
  lcd.setCursor( 3, 1 );
  lcd.print(t);

  // IMPRIMIR LA TEMPERATURA EN LA TERMINAL SERIAL
  Serial.print("°C = ");
  Serial.println(t);

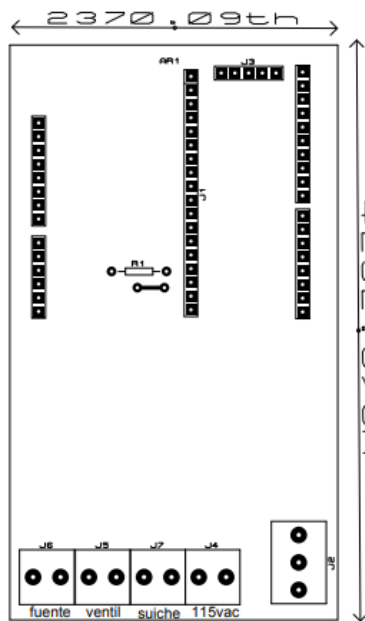
  // ESPERAR UN SEGUNDO ENTRE LAS LECTURAS
  delay(1000);
}

```

Anexo N°4: Esquema de conexión de la placa.



Anexo N°5: Diagrama de la placa.



Anexo N°6: Soldadora inverter

SOLDADORAS INVERTER



TECNOLOGIA	INVERTER
FUNCION	ELECTRODO
SEGMENTO	PROFESIONAL
VOLTAJE	110/220V
POTENCIA	5340W
AMPERAJE 110V	20 - 160A
AMPERAJE 220V	20 - 200A
CICLO DE TRABAJO	1/8" - 100%
CICLO DE TRABAJO	1/8" - 100%
PESO	14.5lb

VENTAJAS Y APLICACIONES	
TURBO VENTILADA	
PROTEGIDA CON FISIBLE TERMICO	
REGULACION DE AMPERAJE	
PARA SOLDADURA CON ELECTRODO	

DIAMETRO DEL ELECTRODO EN 120V			
2	2.5	3.2	4
5/64"	3/32"	1/8"	5/32"
100%	100%	80%	NO
CICLO DE TRABAJO			

DIAMETRO DEL ELECTRODO EN 220V			
2	2.5	3.2	4
5/64"	3/32"	1/8"	5/32"
100%	100%	100%	80%
CICLO DE TRABAJO			

Anexo N°7: Pruebas de dureza Rockwell del acero AISI 1020.

Probeta cilíndrica de 10mm de Ø de acero AISI 1020 Calentado 1min y enfriado por agua	
Alma HRB	Superficie HRB
76	79
80	76
84	75
74	76
83	76
TOTAL: 79.4	TOTAL: 76.4
Probeta cilíndrica de 10mm de Ø de acero AISI 1020 Calentado 1:30min y enfriado por agua	
Alma HRB	Superficie HRB
77	77
79	80
79	74
76	79
83	82
TOTAL: 79.2	TOTAL: 78.4
Probeta cilíndrica de 10mm de Ø de acero AISI 1020 Calentado 2min y enfriado por aceite	
Alma HRB	Superficie HRB
84	84
90	83
89	85
91	84
84	86
TOTAL: 87.6	TOTAL: 84.5

Probeta cilíndrica de 10mm de Ø de acero AISI 1020 Calentado 2min y enfriado por aire	
Alma HRB	Superficie HRB
83	82
84	85
81	82
84	87
88	84
TOTAL: 84	TOTAL: 84

Anexo N°8: Pruebas de dureza Rockwell del acero AISI 1018.

Probeta cilíndrica de 10mm de Ø de acero AISI 1018 Calentado 1min y enfriado por agua	
Alma HRB	Superficie HRB
92	89
90	90
92	91
94	92
90	92
TOTAL: 92.4	TOTAL: 90.8
Probeta cilíndrica de 10mm de Ø de acero AISI 1018 Calentado 1:30min y enfriado por agua	
Alma HRB	Superficie HRB
90	94
91	92
92	90
91	93
91	93
TOTAL: 91	TOTAL: 92.5
Probeta cilíndrica de 10mm de Ø de acero AISI 1018 Calentado 1min y enfriado por aceite durante 2min	
Alma HRB	Superficie HRB
93	90
94	89
92	90
94	91
93	88
TOTAL: 93.2	TOTAL: 89.6
Probeta cilíndrica de 10mm de Ø de acero AISI 1018 Calentado 1:30min y enfriado por aceite durante 2min	
Alma HRB	Superficie HRB
81	90
80	89
86	92
90	91
86	93
TOTAL: 84.6	TOTAL: 91

Probeta cilíndrica de 10mm de Ø de acero AISI 1018 Calentado 1min y enfriado por aire durante 20min	
Alma HRB	Superficie HRB
85	89
83	89
88	89
85	90
83	88
TOTAL: 84.8	TOTAL: 89
Probeta cilíndrica de 10mm de Ø de acero AISI 1018 Calentado 1:30min y enfriado por aire durante 20min	
Alma HRB	Superficie HRB
85	89
86	87
88	85
84	87
89	88
TOTAL: 86.4	TOTAL: 87.4
Probeta cilíndrica de 10mm de Ø de acero AISI 1018 Calentado 2min y enfriado por aire durante 20min	
Alma HRB	Superficie HRB
91	87
87	87
83	85
88	90
87	88
TOTAL: 87.2	TOTAL: 87.9

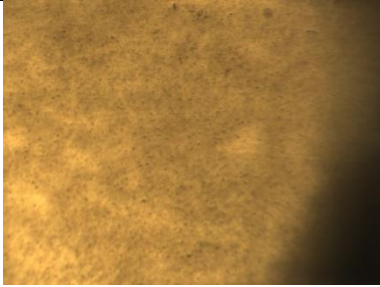

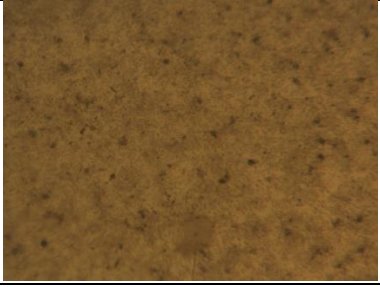

Anexo N°9: Pruebas de dureza Rockwell del acero AISI 705.

Probeta cilíndrica de 13mm de Ø de acero AISI 705 Calentado 1min y enfriado por agua	
Alma HRB	Superficie HRB
94	90
92	90
92	91
95	90
94	90
TOTAL: 93	TOTAL: 90.2
Probeta cilíndrica de 13mm de Ø de acero AISI 705 Calentado 1:30min y enfriado por agua	
Alma HRB	Superficie HRB
90	90
94	90
94	91
90	90
94	91
TOTAL: 92.4	TOTAL: 90.4

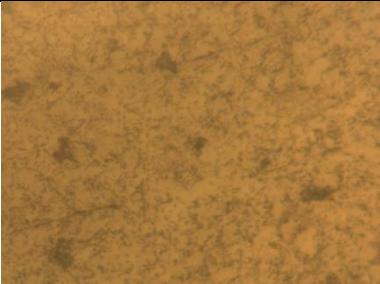
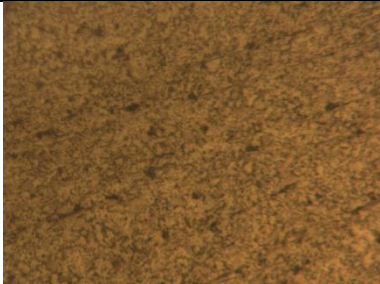
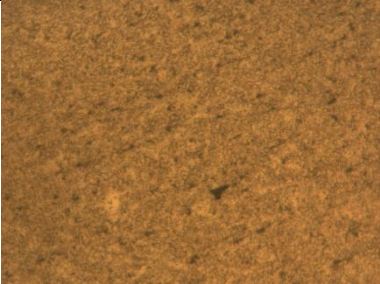
Probeta cilíndrica de 13mm de Ø de acero AISI 705 Calentado 2min y enfriado por agua	
Alma HRB	Superficie HRB
90	90
94	90
92	92
93	90
94	92
TOTAL: 92.6	TOTAL: 90.8
Probeta cilíndrica de 13mm de Ø de acero AISI 705 Calentado 1min y enfriado por aceite durante 2min	
Alma HRB	Superficie HRB
90	90
92	90
94	92
90	90
91	90
TOTAL: 91.4	TOTAL: 90.4
Probeta cilíndrica de 13mm de Ø de acero AISI 705 Calentado 1:30min y enfriado por aceite durante 2min	
Alma HRB	Superficie HRB
90	92
90	90
90	90
90	90
91	90
TOTAL: 90.2	TOTAL: 90.4
Probeta cilíndrica de 13mm de Ø de acero AISI 705 Calentado 2min y enfriado por aceite durante 2min	
Alma HRB	Superficie HRB
91	90
94	91
91	90
94	90
91	91
TOTAL: 92.2	TOTAL: 90.4
Probeta cilíndrica de 13mm de Ø de acero AISI 705 Calentado 1min y enfriado por aire durante 20min	
Alma HRB	Superficie HRB
91	90
90	91
92	89
91	90
90	91
TOTAL: 90.8	TOTAL: 90.2
Probeta cilíndrica de 13mm de Ø de acero AISI 705 Calentado 1:30min y enfriado por aire durante 20min	
Alma HRB	Superficie HRB
91	90

90	91
92	90
92	90
90	89
TOTAL: 91	TOTAL: 90
Probeta cilíndrica de 13mm de Ø de acero AISI 705 Calentado 2min y enfriado por aire durante 20min	
Alma HRB	Superficie HRB
89	90
90	93
93	92
91	90
90	90
TOTAL: 90.6	TOTAL: 91

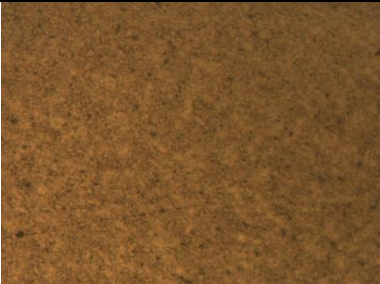
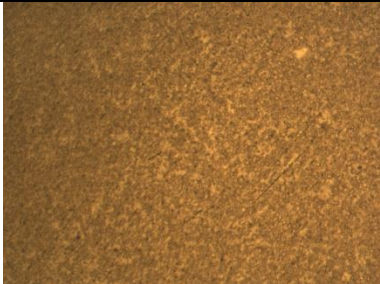
Anexo N°10: Análisis metalográfico del acero AISI 705

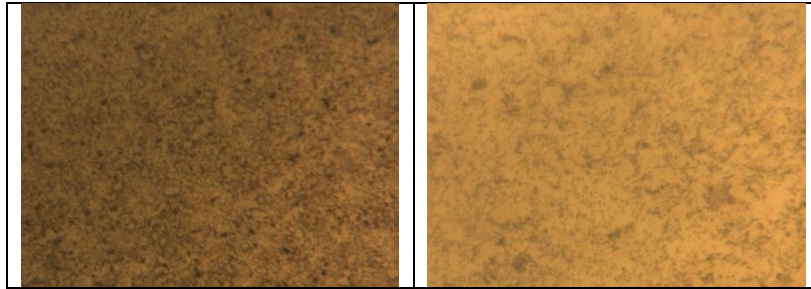
AISI 705 sin temprar x5,x10, x20, x50	
	
	

AISI 705 temple en agua x5,x10, x20, x50 (1min) enfriado al instante

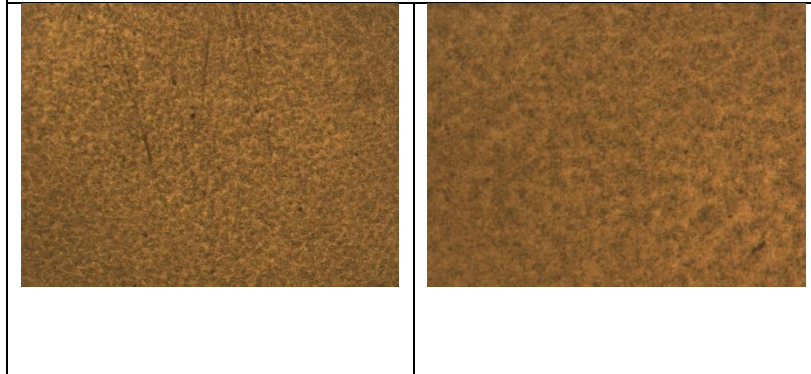


AISI 705 temple en agua x5,x10, x20, x50 (1:30min) enfriado al instante

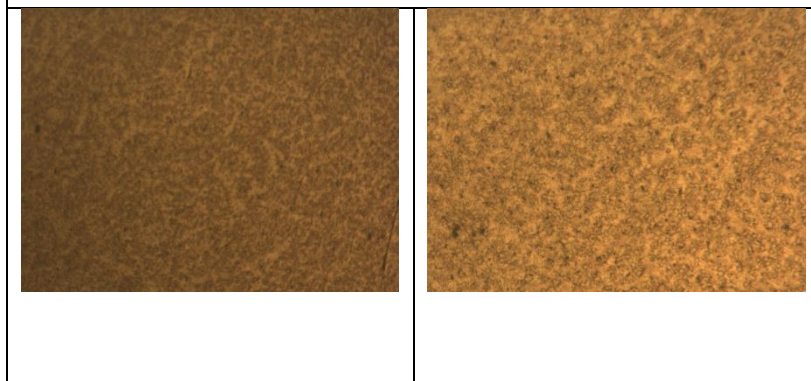


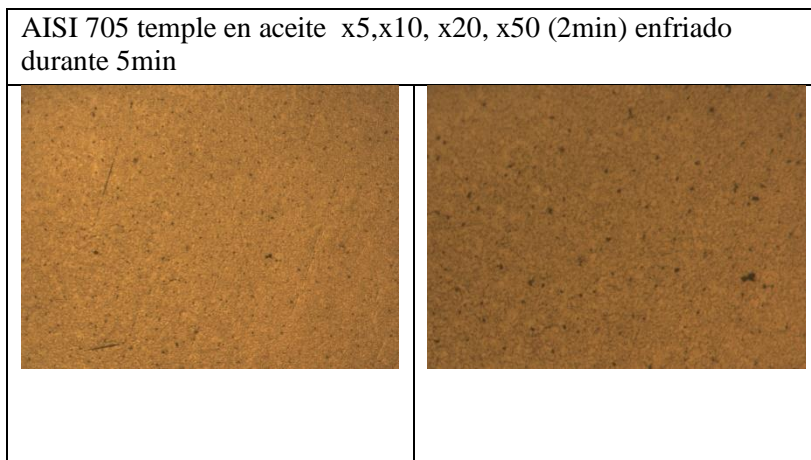
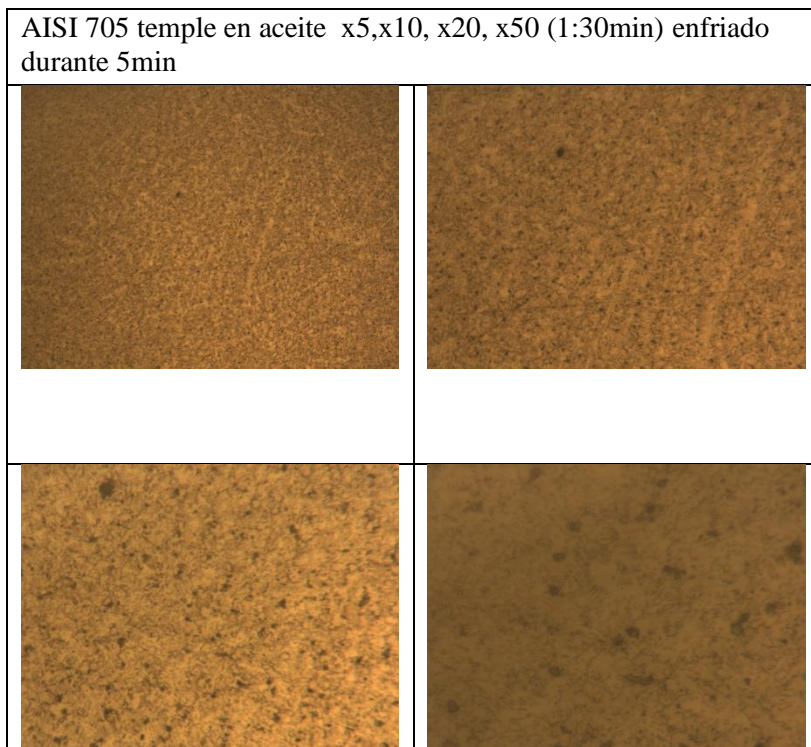
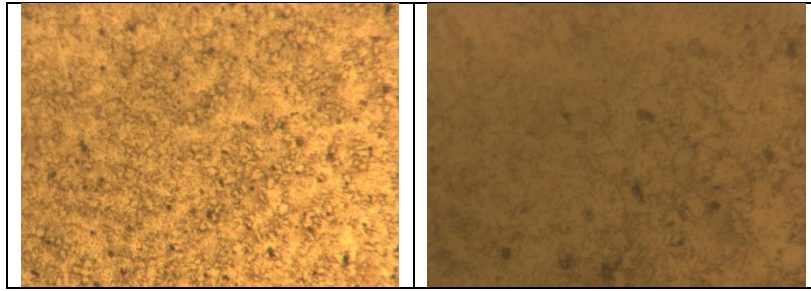


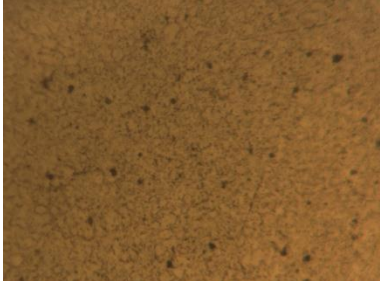

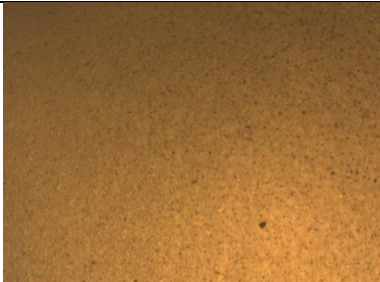
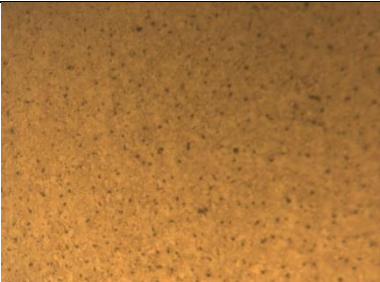
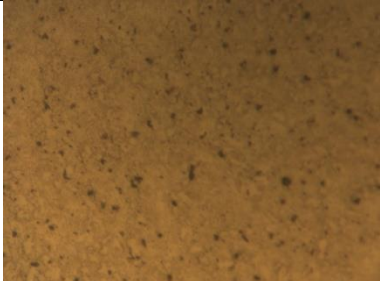
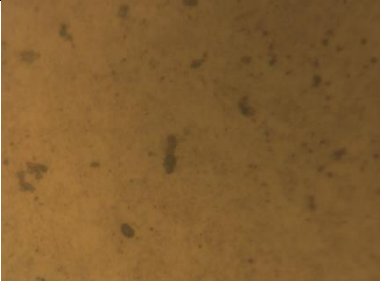
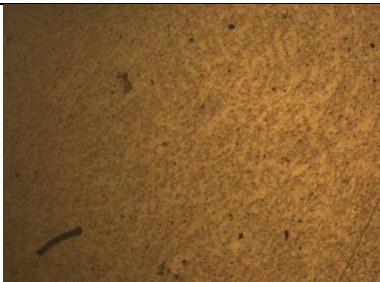
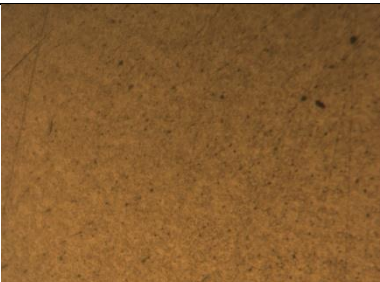
AISI 705 temple en agua x5,x10, x20, x50 (2min) enfriado al instante

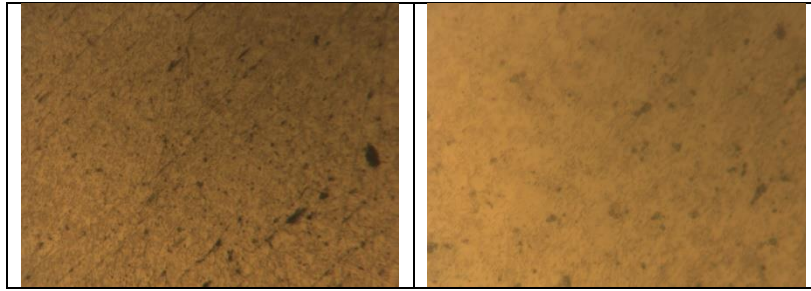


AISI 705 temple en aceite x5,x10, x20, x50 (1min) enfriado durante 5min

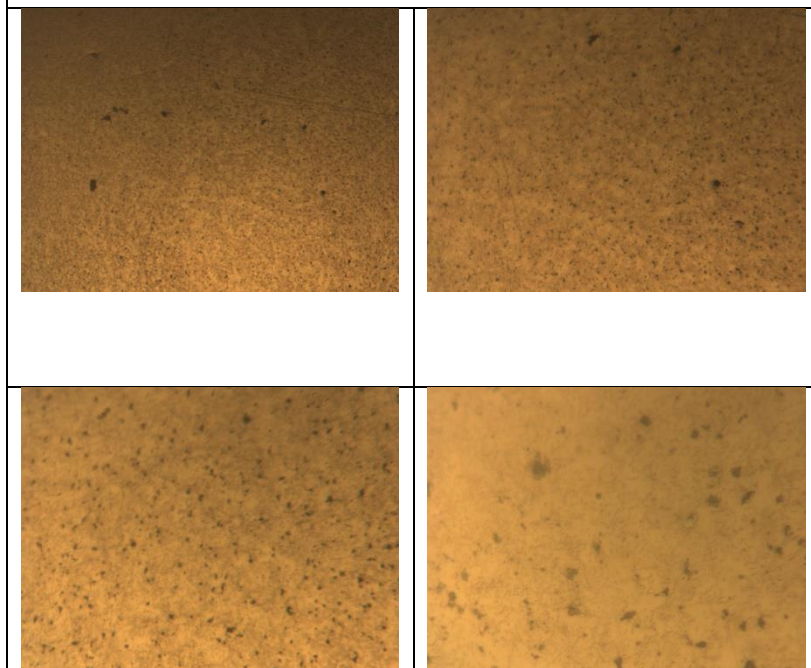




	
<p>AISI 705 temple en aire x5,x10, x20, x50 (1min) enfriado durante 20min</p>	
	
	
<p>AISI 705 temple en aire x5,x10, x20, x50 (1:30min) enfriado durante 20min</p>	
	

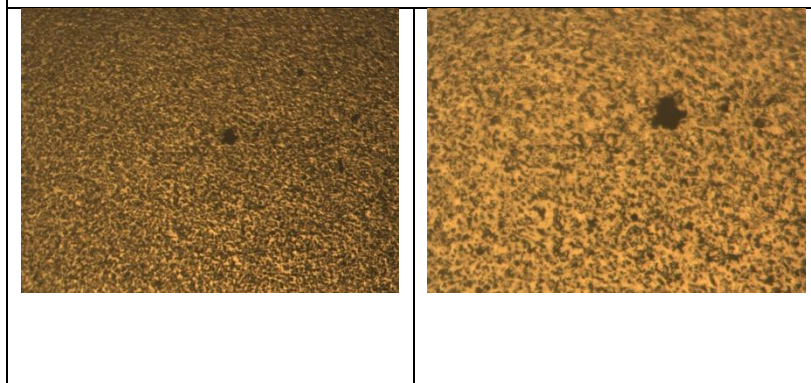


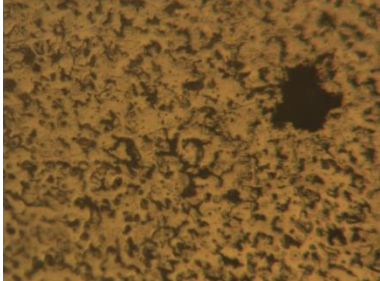
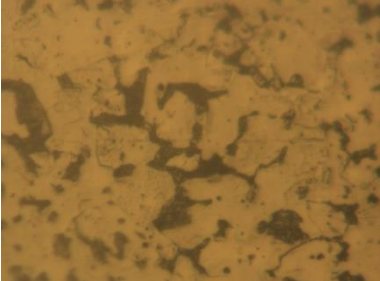
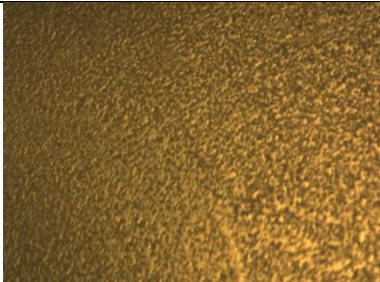
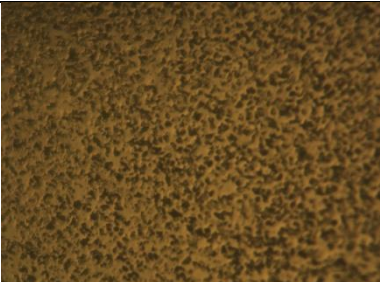
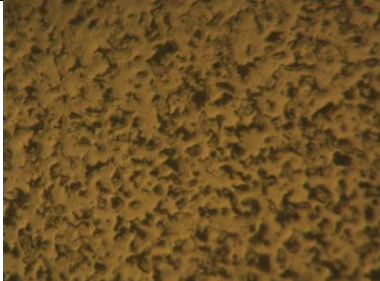
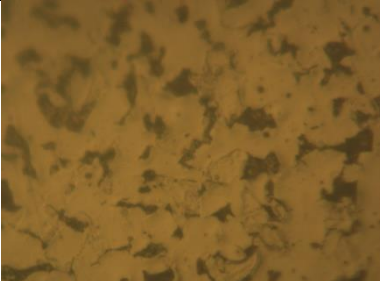
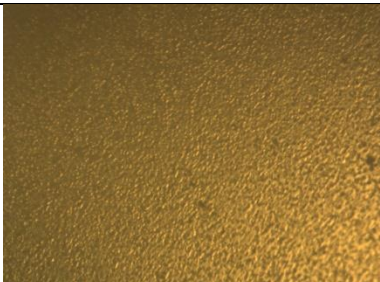

AISI 705 temple en aire x5,x10, x20, x50 (2min) enfriado durante 20min

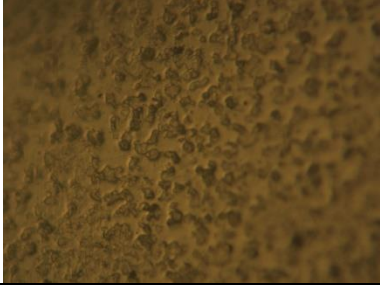

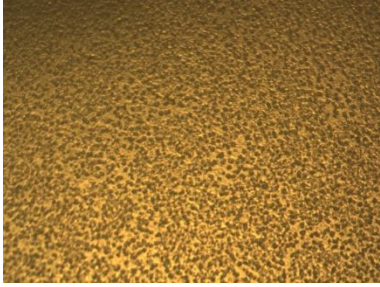
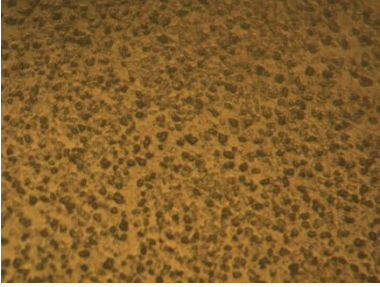
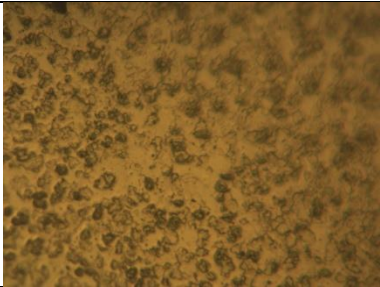
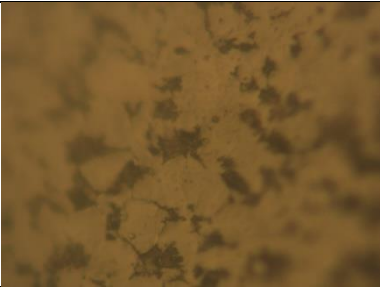

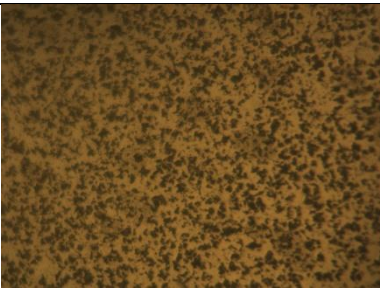


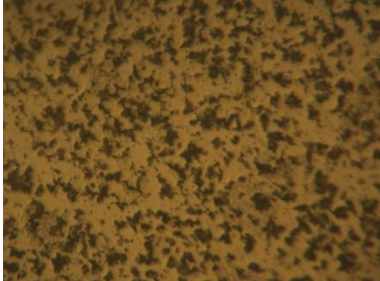

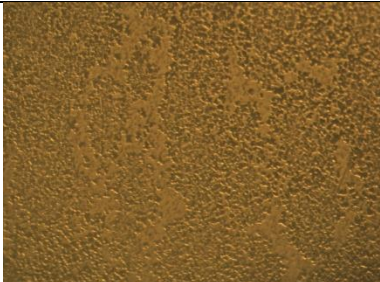
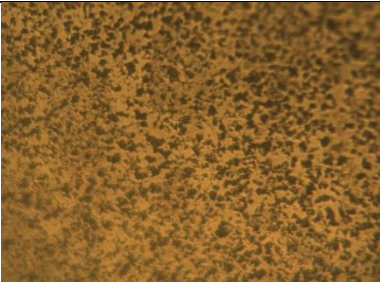
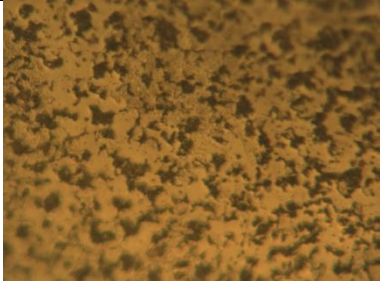
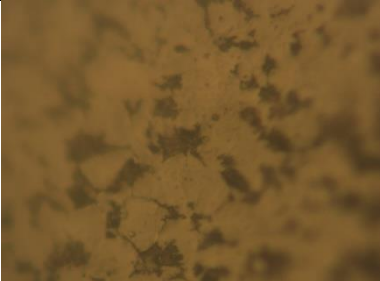
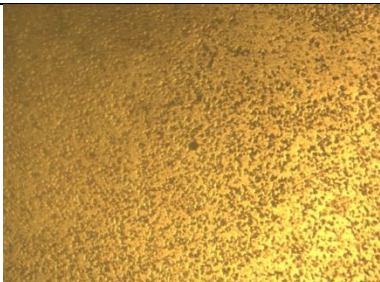
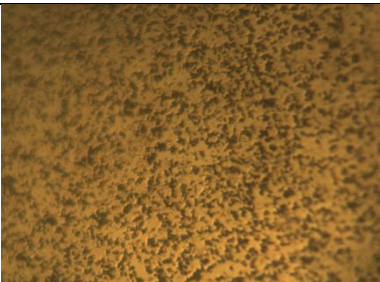
Anexo N°11: Análisis metalográfico del acero AISI 1018

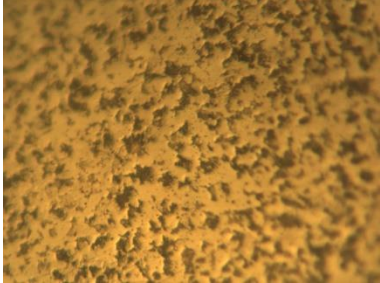
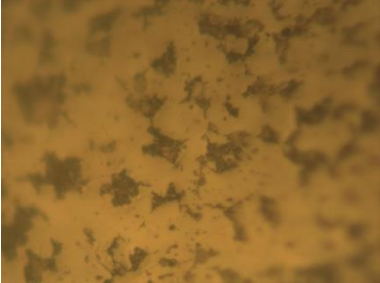
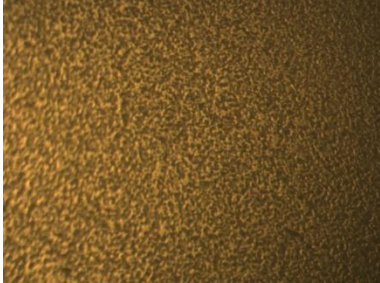
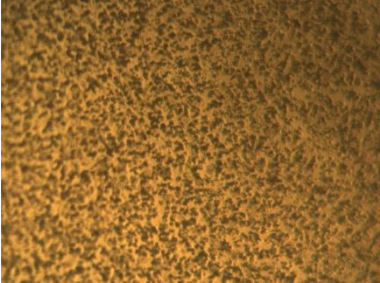
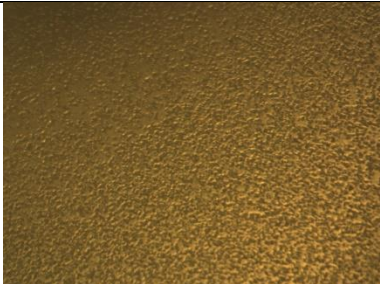
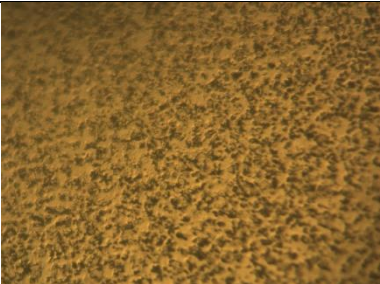
AISI 1018 sin templar

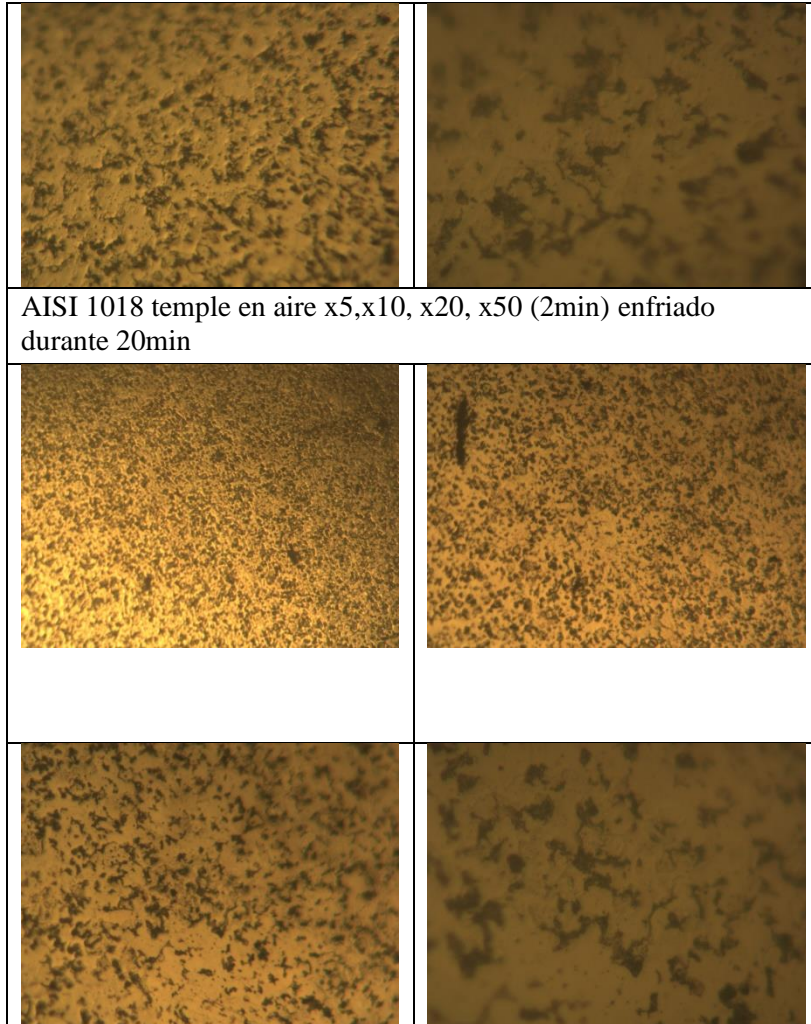


	
<p>AISI 1018 temple en agua x5,x10, x20, x50 (1min) enfriado al instante</p>	
	
	
<p>AISI 1018 temple en agua x5,x10, x20, x50 (1:30min) enfriado al instante</p>	
	

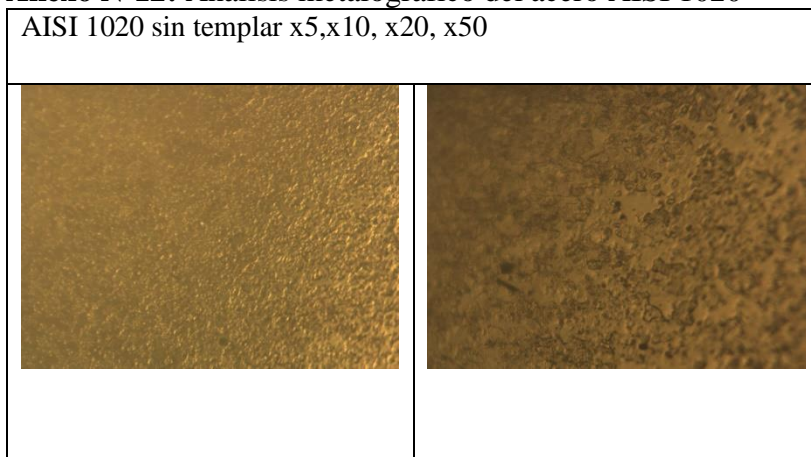
	
<p>AISI 1018 temple en agua x5,x10, x20, x50 (2min) enfriado al instante</p>	
	
	
<p>AISI 1018 temple en aceite x5,x10, x20, x50 (1min) enfriado durante 5min</p>	
	

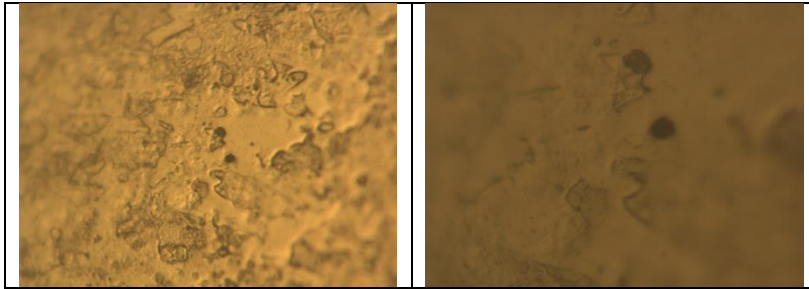
	
<p>AISI 1018 temple en aceite x5,x10, x20, x50 (1:30min) enfriado durante 5min</p>	
	
	
<p>AISI 1018 temple en aceite x5,x10, x20, x50 (2min) enfriado durante 5min</p>	
	

	
<p>AISI 1018 temple en aire x5,x10, x20, x50 (1min) enfriado durante 20min</p>	
	
<p>AISI 1018 temple en aire x5,x10, x20, x50 (1:30min) enfriado durante 20min</p>	
	

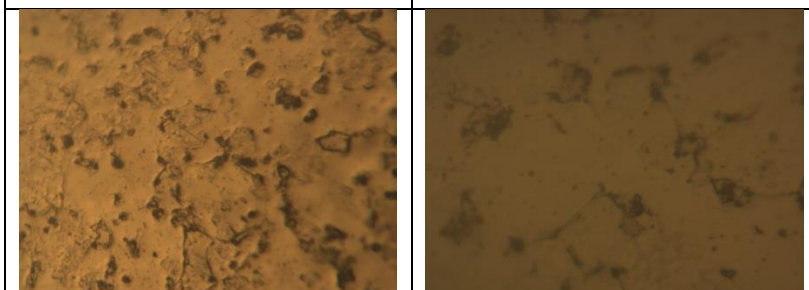
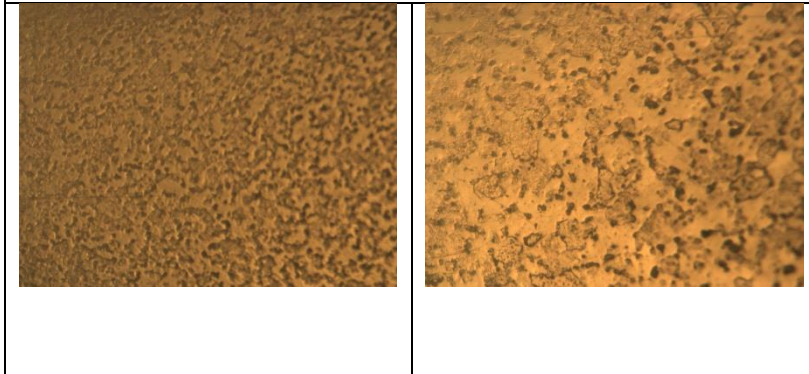


Anexo N°12: Análisis metalográfico del acero AISI 1020

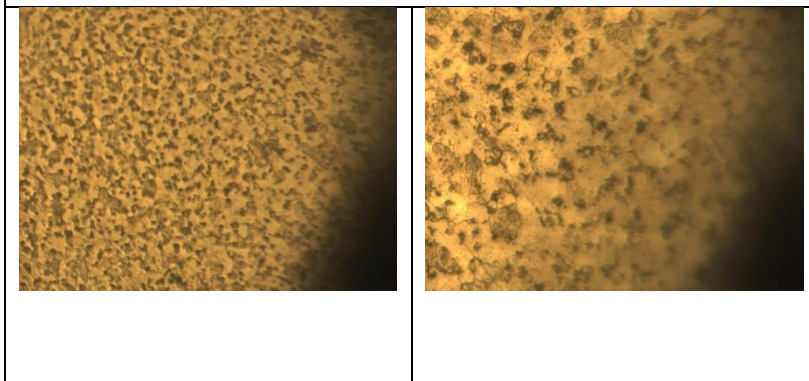


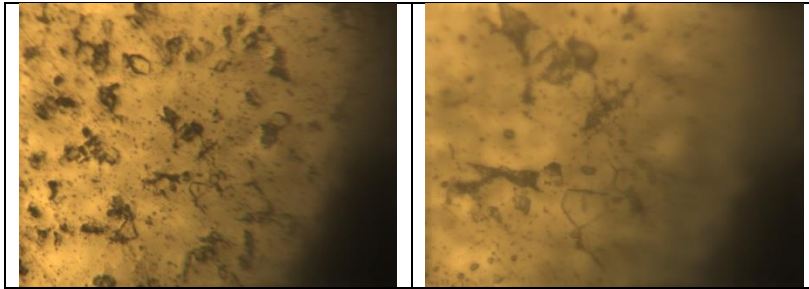


AISI 1020 temple en agua x5,x10, x20, x50 (1min) enfriado al instante

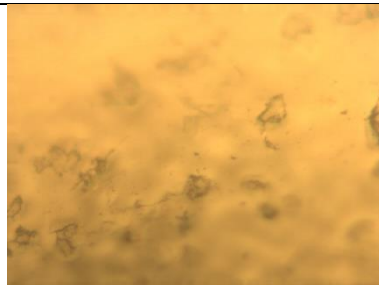
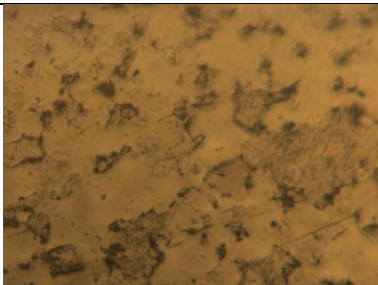
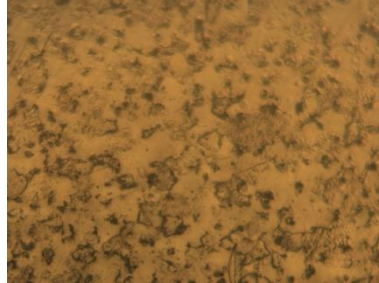
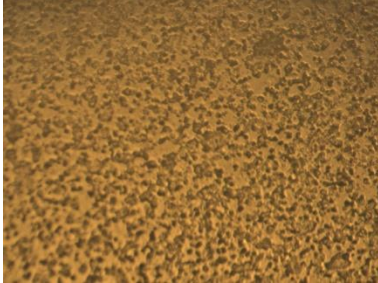


AISI 1020 temple en agua x5,x10, x20, x50 (1:30min) enfriado al instante

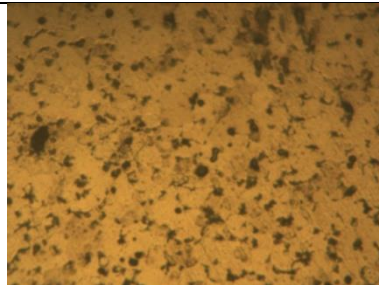
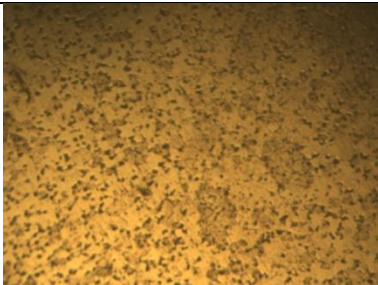


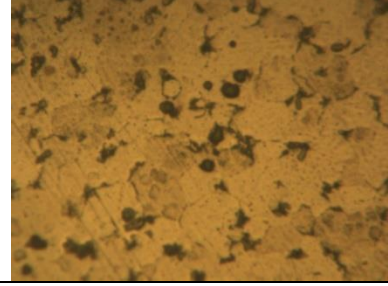
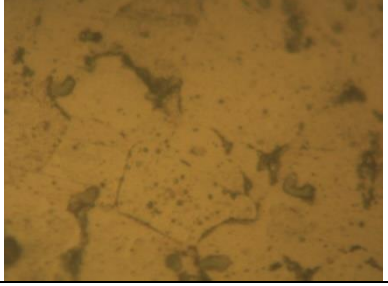


AISI 1020 temple en agua x5,x10, x20, x50 (2min) enfriado al instante



AISI 1020 temple en aceite x5,x10, x20, x50 (2min) enfriado durante 5min



	
<p>AISI 1020 temple en aire x5,x10, x20, x50 (2min) enfriado durante 20min</p>	
