



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

**Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Mecánica**

“INVESTIGACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE MECANISMO DE TEMPLE POR INDUCCIÓN”

**Seminario de Título presentado en
conformidad a los requisitos para
obtener el título de Ingeniero de
Ejecución en Mecánica.**

**Profesor Guía:
Sr. Heraldo Bastidas Medel**

GUSTAVO ANDRÉS JORQUERA SAN MARTÍN

Concepción

2015

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a mis padres Eduardo y Gloria que son el motor de mi vida, esto es para ustedes. Los amo.

A mis profesores, a mi profesor guía Don Heraldo Bastidas, al gerente de la empresa Don Marco Orellana Parra, a Charlie Parsana por la investigación y dedicación a este proyecto.

A mis amigos y gente cercana todos estos años de estudio, gracias.

A Noelia Valero, a mis hermanos Joaquín y Mauricio, y todas esas personas que me sacaron sonrisas día a día.

RESUMEN

El presente seminario de título, en conjunto con la empresa Ingeniería y Maestranza ORECAL LTDA., desea implementar en el mercado regional un mecanismo de temple por inducción. Compuesto de un inductor eléctrico, sistema de enfriamiento fijo, donde la pieza tenga un movimiento de rotación y traslación.

Se investiga, cotiza e implementa este mecanismo de temple por inducción. Para ello se debe estudiar el proceso en sí, todo factor contribuye a una mejor decisión final.

El seminario consta de cuatro capítulos. El primer capítulo consta de antecedentes generales.

El segundo capítulo trata de antecedentes teóricos del temple por inducción, el tratamiento térmico, la pieza a temprar, el sistema de refrigeración, y otros aspectos en los cuales esté involucrado el temple por inducción.

El tercer capítulo será la cotización del mecanismo, dando detalles de cada uno de sus componentes.

El cuarto y último capítulo será la decisión final de las cotizaciones del presente, con la colaboración de la empresa, aportando ésta, la cantidad de dinero necesaria para implementarse en el mercado de la octava región y a nivel nacional.

GLOSARIO

- Acero Eutectoide: Acero que contiene entre 0.77 a 0.8% de carbono. Si un acero es eutectoide y se enfría lentamente, la Austenita se transforma completamente en Perlita.
- Austenita: Es una forma de ordenamiento específica de los átomos de hierro y carbono. Esta es la forma estable del hierro puro a temperaturas que oscilan entre los 900°C a 1400°C. Es dúctil, blanda y tenaz.
- Cementita globular: Es la microestructura también denominada eferoidita, en el cual un acero perlítico se calienta a una temperatura inferior a la del eutectoide. La cementita no aparece en forma laminar, sino en forma globular de menor contenido energético (menor relación superficie/volumen).
- Efecto Joule: Fenómeno irreversible por el cual si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo. Entonces se tiene que el calor es directamente proporcional a la intensidad de corriente, al tiempo que está atravesando el conductor y a la resistencia del mismo.
- Factor de potencia: Es un indicador cualitativo y cuantitativo del correcto aprovechamiento de la energía eléctrica. De forma general, es la cantidad de energía que se ha transformado en trabajo. Puede tomar valores entre 0 y 1.
- Impedancia: Es la medida de oposición que presenta un circuito a una corriente cuando se aplica una tensión. A diferencia de la resistencia, en la impedancia se incluyen los efectos de acumulación y eliminación de carga (capacitancia) y/o inducción magnética (inductancia).

- Inductancia: Es una medida de la oposición a un cambio de corriente de un inductor o bobina que almacena energía en presencia de un campo magnético, y se define como la relación entre el flujo magnético y la intensidad de corriente eléctrica que circula por la bobina y el número de vueltas del devanado.
- Ley de Faraday: Establece que el voltaje inducido en un circuito cerrado es directamente proporcional a la rapidez con que cambia en el tiempo el flujo magnético que atraviesa una superficie cualquiera con el circuito como borde.
- Martensita: Es el constituyente de los aceros templados, está conformado por una solución sólida sobresaturada de carbono o carburo de hierro en ferrita y se obtiene por enfriamiento rápido de los aceros desde su estado austenítico a altas temperaturas.
- Resistividad eléctrica: Es la resistencia eléctrica de un determinado material. Su valor describe el comportamiento de un material frente al paso de corriente eléctrica, un alto valor de resistividad indica que el material es mal conductor, mientras que un bajo valor indica que es un buen conductor.
- T.T.: Tratamiento térmico, que es un conjunto de operaciones de calentamiento y enfriamiento, bajo condiciones controladas de temperatura, tiempo de permanencia, velocidad, presión, de los metales o las aleaciones en estado sólido, con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas.

CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: Antecedentes Generales.	Página 1
- Introducción.	Página 2
- Objetivos.	Página 3
- La empresa.	Página 4
 CAPÍTULO 2: Marco Teórico.	 Página 5
- Tratamiento Térmico.	Página 6
- Temple.	Página 7
- Temple por inducción.	Página 8
a) Fundamentos del calentamiento inductivo.	Pág. 9 -11
b) Variantes que perjudican el temple por inducción.	Pág. 12
c) Consideraciones sobre la bobina inductora.	Pág. 13 -15
d) Temperatura en el temple por inducción.	Página 16
e) Ventajas del temple por inducción.	Página 17
f) Otras aplicaciones del temple por inducción.	Página 18
 CAPÍTULO 3: Propiedades de equipos y cotizaciones.	 Página 19
- Elementos necesarios para el temple por inducción.	Página 20
a) Generador de inducción.	Página 20
b) Escáner Vertical.	Página 21
c) Sistema refrigerante del equipo de inducción.	Pág. 22 - 24
d) Agua, refrigerante o aceite de temple.	Página 24
e) Eje.	Página 25
i. Cálculo del peso del eje.	Página 26
- Cotizaciones.	Página 27
a) Cotización GH Electrotermia.	Página 27
i. Composición del equipo.	Página 27
ii. Descripción del equipo.	Páginas 27 - 31
iii. Ventajas del generador de inducción GH.	Página 31
iv. Condiciones de entrega y garantía.	Página 31
v. Garantía.	Página 32

vi.	Forma de pago.	Página 32
vii.	Plazo de entrega.	Página 32
viii.	Contacto.	Página 33
b)	Cotización ElectroHeat Induction.	Página 34
i.	Cotización.	Páginas 34 - 35
ii.	Especificaciones técnicas.	Página 35
iii.	Términos y condiciones.	Página 36
iv.	Contacto.	Página 37
c)	Datos técnicos.	Página 38
i.	Empresa: Tratamientos térmicos Traterh S.A.	Pág. 38 -39
ii.	Empresa: Ambrell, uma Compania Ameritherm.	Pág. 40
iii.	Empresa: ElectroHeat Induction Inc.	Página 41
CAPÍTULO 4: Análisis y Decisión final para la compra.		Página 42
-	Ventajas.	Página 43
-	Desventajas.	Página 44
-	Decisión final.	Páginas 45 - 47
CONCLUSIONES		Página 48
BIBLIOGRAFÍA Y LINKOGRAFÍA		Página 49

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES GENERALES

INTRODUCCIÓN

El presente Seminario de Título está enfocado en la implementación de un mecanismo de temple por inducción para la empresa ORECAL LTDA., ya que posee dentro de sus instalaciones solo una máquina para el tratamiento térmico de la cementación.

Es así como se estudia las ofertas que ofrece el mercado en relación al mecanismo de temple por inducción. Así como también la composición química de la pieza, la cual es un conductor de electricidad, como consecuencia, al estar cerca del inductor produce cargas electromagnéticas, dicha resistencia produce energía térmica. Al producirse este fenómeno la pieza obtiene el ya mencionado tratamiento térmico, el cual es un proceso rápido, preciso, limpio, eficiente energéticamente, controlable y repetible.

Se hará esta investigación y cotización para su posterior compra, ya que con el mecanismo de temple por inducción a analizar y elegir, será posible realizar el mismo tratamiento a piezas diferentes, ya que solo el diseño de la bobina debería ser cambiado, y a la vez regulando la frecuencia y potencia del generador. Lo cual significaría satisfacer las demandas regionales y/o nacionales en lo que sería el temple por inducción por parte de la empresa.

OBJETIVOS

Objetivo General:

- Implementar un mecanismo para temple por inducción. Éste debe poseer tecnología acorde al mercado y a la empresa ORECAL LTDA.

Objetivos Específicos:

- Estudio del temple por inducción.
- Cotización u oferta del mecanismo de temple por inducción, priorizando el escáner vertical, que deberá tener una longitud acorde a lo que la empresa solicita según la pieza a tratar térmicamente.
- Análisis, decisión e implementación del mecanismo de temple por inducción.

LA EMPRESA

ORECAL LTDA. (ver fig. N° 1.1) es una empresa presente desde el año 1987, fundada por Marco Orellana Parra. Ubicada en el centro de la ciudad de Concepción en Lincoyán N°870. Es reconocida por ser una empresa del sector industrial, que entrega servicios y productos con el respaldo de personal calificado y con vasta experiencia, complementados con una infraestructura y tecnología acorde a las exigencias del mercado.

Los servicios que ofrece la empresa son la preparación, mecanizado y fabricación de partes y piezas de conjunto mecánicos en acero al carbono e inoxidables, bronce aluminio, plástico industrial y otros. Como por ejemplo, fabricaciones de eje, coronas, piñones, mecanizados tradicionales y especiales en maquinaria CNC. Soluciones en corte por medio del sistema de corte por chorro de agua, el cual permite cortar cualquier material hasta espesores de 200 mm. Además, dispone de un moderno sistema de tratamiento térmico y laboratorio metalográfico para evaluar la calidad de los materiales.

Misión: Suministrar servicios y soluciones de calidad a empresas del sector industrial, forestal, marítimas y otras. Dando una constante voluntad de servicio a los clientes a cargo de personal altamente capacitado, con tecnología actualizada tanto en maquinaria como en software.

Visión: Satisfacer clientes a través de la innovación tecnológica, comprometiéndose en la eficiencia y eficacia, para ser parte de la mejora continua de los procesos.



Figura N° 1.1
Logo ORECAL LTDA.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

TRATAMIENTO TÉRMICO

Tiene por objetivo modificar la estructura de los materiales metálicos mediante el ciclo de calentamiento y enfriamiento. Esto permite alterar ciertas propiedades, sobre todo mecánicas, relacionadas con la estructura de los metales. Este tratamiento térmico se aplica principalmente en los aceros. Es preciso, para comprender las transformaciones en la estructura de un acero, conocer sus componentes estructurales, ya que las variaciones de las propiedades vienen en función del contenido de carbono. Se puede hacer este (o estos) tratamiento(s) térmico(s) sobre una parte o totalidad de la pieza.

Las etapas del tratamiento térmico son:

- Calentamiento hasta la temperatura fijada: La elevación de temperatura debe ser uniforme en la pieza.
- Permanencia a la temperatura fijada: Es la completa transformación del constituyente estructural de partida.
- Enfriamiento: Dependiendo de qué tratamiento térmico sea, puede ser lento o rápido.

Hay muchos tratamientos térmicos, pero entre los más conocidos está:

- Recocido
- Revenido
- Normalizado
- Temple (ver fig. N° 2.1)

Todos muy importantes, pero en este trabajo de seminario de título se enfocará solo en uno, el TEMPLE POR INDUCCIÓN.



Figura N° 2.1 Servicio de tratamiento térmico.

TEMPLE

El temple es un T.T., que tiene por objetivo aumentar la dureza y la resistencia mecánica del material (aceros al carbono y aleados con contenido de carbono), transformando toda la masa en Austenita con el calentamiento (al rojo vivo) y luego, por medio de un enfriamiento brusco (ver fig. N° 2.2) hasta temperatura ambiente (con aceites, agua, etc.) se convierte en Martensita, que es el constituyente duro típico de los aceros templados.

En este tipo de tratamiento es muy importante la fase de enfriamiento y la velocidad alta del mismo. Otro factor a considerar en el temple es que la temperatura para el calentamiento óptimo debe ser siempre superior a la crítica para poder obtener de esta manera la Martensita.

En la industria hay muchos tipos de aceros con diferente composición química y además, muchas aplicaciones para un mismo tipo de acero, es por esto que los fabricantes proporcionan tablas con los valores óptimos de temperatura y tiempo de permanencia en la pieza, como también la velocidad de enfriamiento durante el temple.

Existen varios tipos de temple, clasificados en función del resultado que se quiera obtener y en función de la propiedad que presentan casi todos los aceros, llamada templabilidad (capacidad a la penetración del temple), que a su vez depende del diámetro o espesor de la pieza y de la calidad del acero.

En el presente trabajo se involucra el Temple por Inducción, que será definido más adelante.

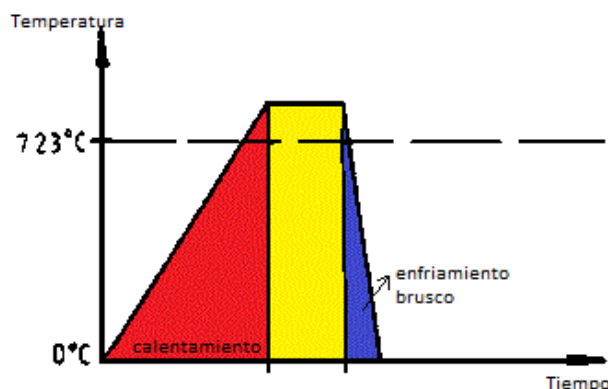


Figura N° 2.2

Temple común que consiste en calentar la pieza, mantener la temperatura y luego enfriarla rápidamente.

TEMPLE POR INDUCCIÓN

El temple por inducción utiliza calor inducido y enfriamiento rápido para aumentar la dureza y durabilidad del acero. La inducción es un proceso en el cual se genera calor controlable, localizado e intenso. No necesita de contacto físico con la pieza o material a templar.

En este tipo de temple se utilizan inductores de cobre fabricados a medida de la zona a calentar. A estos inductores de cobre se les puede programar la entrega de potencia (kW) y la frecuencia de corriente (Hz).

El procedimiento del temple por inducción es que al hacer circular un campo magnético alterno por estas bobinas (inductores), obliga a la pieza o material a templar a comportarse como un electroimán que se opone al flujo magnético natural, éste fenómeno se traduce en la generación de calor por efecto Joule de manera controlada.

Desde el inductor se transfiere energía electromagnética que se convierte en energía calórica directamente en el material a calentar.

En el calentamiento del material, no hay piezas de la fuente de energía en contacto con la pieza a tratar térmicamente, ni gases ni combustión, ni cualquier otro elemento que limite la posición o forma del material a calentar que puede estar en un entorno aislante de la fuente, sumergido en un líquido, cubierto por sustancia aislantes, en atmósferas gaseosas o incluso en el vacío.

Este tipo de tratamiento térmico utiliza un calentamiento y luego un enfriamiento brusco con los objetivos de aumentar la dureza, la resistencia y/o la vida útil de la pieza. Cuando la pieza se calienta a temperaturas superiores a la temperatura crítica, su estructura se modifica tomando la forma de Austenita, en el cual se ordenan los átomos, provocando que el carbono pueda migrar libremente. Luego viene el enfriamiento brusco de la Austenita para poder ordenar estos átomos de carbono en una nueva posición en la estructura de los cristales. Esta nueva estructura llamada Martensita hace que la pieza quede con mayor dureza.

Cabe mencionar que mientras más rápido sea la velocidad de enfriamiento luego del temple por inducción se obtendrán mayores durezas.

Fundamentos del calentamiento inductivo:

El efecto Joule es el fenómeno en el cual si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor, debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo.

$$\left. \begin{array}{l} P = V \cdot I \\ E = P \cdot t \end{array} \right\} \longrightarrow E = V \cdot I \cdot t$$

La potencia **P** disipada en un conductor es igual a la diferencia de potencial **V** a la que está sometido, multiplicada por la intensidad de corriente **I** que lo atraviesa. La energía desarrollada **E** es el producto de la potencia **P** por el tiempo **t** transcurrido.

Cuando una corriente alterna se aplica al primario de un transformador, se genera un campo electromagnético. Según la Ley de Faraday (voltaje inducido en un circuito cerrado es directamente proporcional a la rapidez con que cambia en el tiempo el flujo magnético que atraviesa una superficie cualquiera), si el secundario del transformador se coloca dentro del campo magnético, se induce una corriente eléctrica.

En una configuración básica de calentamiento por inducción, una fuente de alimentación genera una corriente alterna que atraviesa un inductor (normalmente una bobina de cobre) y la pieza a calentar se sitúa dentro de dicho inductor. El inductor actúa de primario del transformador y la pieza de circuito secundario. Cuando la pieza metálica es atravesada por el campo magnético, se inducen corrientes de Foucault en dicha pieza.

Las corrientes de Foucault fluyen contra la resistividad eléctrica del metal, generando un calor localizado y preciso sin ningún contacto directo entre la pieza y el inductor. Este calentamiento ocurre con piezas magnéticas y no magnéticas, gracias al ya mencionado Efecto Joule, el cual expresa la relación entre calor producido y corriente eléctrica a través de un conductor.

Como ya se dijo anteriormente el campo magnético es producido por una corriente eléctrica y una frecuencia, esto adecuado al trabajo a efectuar. Este campo magnético depende además del número de vueltas de la bobina.

Si una pieza es colocada dentro de una bobina de N vueltas por la que circula una corriente alterna de intensidad J , capaz de producir un campo de intensidad de flujo Φ , se generará una fuerza electromotriz e que se puede expresar como:

$$e = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

Las corrientes inducidas en la pieza de trabajo generan su propio campo magnético de sentido contrario al generado por el inductor (ver fig. N° 2.3), siendo éste el motivo por el cual las corrientes inducidas se debilitan hacia el interior provocando el llamado “skin effect” o efecto peculiar (efecto que hace que la resistencia efectiva o de corriente alterna sea mayor que la resistencia óhmica-arochiana o de corriente elevada).

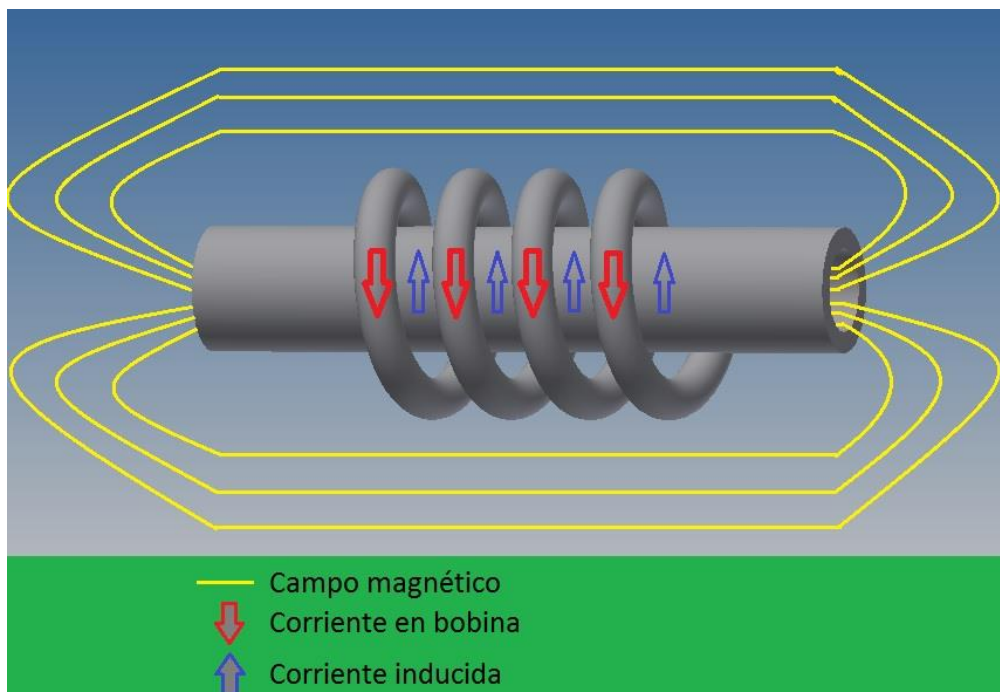


Figura N° 2.3

Calentamiento de la pieza, en donde se genera el campo magnético.

La disminución de la intensidad de la corriente inducida desde la periferia hacia el interior está expresada por una ley exponencial:

$$i_x = i_s \cdot e^{-\frac{x}{d}}$$

En donde i_x indica la densidad de corriente a la distancia x de la superficie calentada; i_s indica la densidad de corriente en la superficie calentada y d es la “profundidad de penetración” que determina la efectiva profundidad de las corrientes parásitas en su generación de calor. El valor d está dado por la siguiente expresión:

$$d = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \cdot \mu_0 \cdot \mu_T \cdot f}}$$

Donde μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío; μ_T es la permeabilidad magnética relativa de la pieza que se calienta (disminuye cuando aumenta la temperatura); ρ es la resistividad de la pieza de trabajo (aumenta con la temperatura); f es la frecuencia del campo magnético actuante producido por la corriente que recorre la bobina inductora.

Para que el temple por inducción sea efectivo, es decir, que el calentamiento de la zona a tratar llegue en profundidad hasta el espesor deseado, es necesario que el diámetro del redondo o el espesor de la placa a tratar tengan una relación de D/d o $A/d > 3$, siendo D el diámetro de la pieza y A el espesor de la placa (según los casos); si esas relaciones son menores se pierde eficiencia ya que empiezan a tener influencia las corrientes generadas, que son de signo opuesto, contrabalanceando las originadas en una cara (si se trata de una placa) o de un extremo del diámetro (si se trata de un redondo).

Variantes que perjudican el temple por inducción:

Las variables que afectan a la velocidad de calentamiento son las siguientes:

- a) Intensidad o fuerza del campo magnético generado por la corriente que recorre la bobina de trabajo con sus características fundamentales: intensidad y tensión. De los Amper-vueltas de la bobina de trabajo surge la fuerza magnética en forma de líneas de fuerza (flujo magnético).
- b) Frecuencia de la corriente que recorre la bobina de trabajo; ya se vio su influencia en el valor de d ; a mayores frecuencias existe mayor acercamiento de las líneas de fuerza.
- c) Separación entre la pieza de trabajo y la bobina inductora.
- d) Características magnéticas y eléctricas del material a tratar: resistividad y permeabilidad magnética.

Consideraciones sobre la bobina inductora:

La forma de la bobina inductora tiene mucha importancia ya que en ella se concentra el flujo de líneas de fuerza sobre la zona a calentar. Algunas de las condiciones necesarias para tener en cuenta en su diseño son las siguientes:

- a) Cuanto mayor acercamiento entre la zona a calentar y las espiras de la bobina, mayor concentración de líneas de fuerza del campo magnético, dando mayor intensidad a las corrientes parásitas, y, por ende, mayor temperatura por efecto Joule.
- b) La mayor concentración de líneas de fuerza se encuentra en el centro de la bobina, en forma longitudinal.
- c) La mínima concentración de líneas de fuerza se encuentra en el centro geométrico de la bobina (en el centro de la circunferencia si es circular o en la intersección de las diagonales si es rectangular o cuadrada).
- d) Cuando por razones de la forma de la pieza no es practicable una luz pareja, es interesante –siempre que sea posible- hacer girar la pieza dentro de la bobina.
- e) Para el calentamiento de baja frecuencia (grandes espesores o tratamientos del acero en toda la sección del mismo), se usan bobinas de gran número de espiras que forman, con su self-inducción y la del autotransformador utilizado, la impedancia total del sistema eléctrico.

En general, para ejes y/o tubos en donde se persigue capas de poca profundidad de calentamiento para temple superficial y especial para materiales ferromagnéticos, se aconsejan inductores de una sola espira, teniendo en cuenta que debe guardarse una relación entre el diámetro interior de la bobina y el ancho de la espira; así, para un diámetro de 50 mm, el ancho debería ser de 19 mm; en cambio si el diámetro es de 100 mm, el ancho debería ser de 25 mm.

Cuando se trata de calentamiento de capas grandes o calentamiento de la sección total de la pieza, se suelen usar bobinas de varias espiras las que, para obtener uniformidad en el calentamiento, se modifican los diámetros en las zonas demasiado cargadas de líneas de fuerza.

La distancia entre la bobina y el área de trabajo debe ser la mínima posible para evitar que el flujo de líneas se desparrame fuera de la zona a trabajar. La

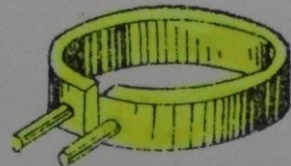
frecuencia de la corriente inductora tiene mucha influencia sobre el vacío entre la bobina y la zona de trabajo. Esto significa que a mayores frecuencias las corrientes en la bobina son más bajas y el acercamiento será, en general, mayor; con bajas y medias frecuencias las corrientes de bobina son mayores y la distancia entre bobina y zona de trabajo podrán ser mayores.

Para materiales magnéticos que deben ser calentados en toda la sección, donde se usan bobinas de varias espiras, las separaciones suelen estar entre 6,5 mm a 9,5 mm. En materiales no ferrosos con las mismas condiciones de calentamiento, es aceptable una variación de la separación entre 1,5 a 3 mm.

Otro aspecto importante de la forma de la bobina es relativo a la forma de la pieza y las zonas que debe calentar, ya que debe haber más de una sola parte a calentar, en cuyo caso puede haber sobrecalentamientos en algunas zonas, lo que obligaría a efectuar arrollamientos en sentido contrario al necesario en la zona a trabajar.

Las bobinas deben ser refrigeradas, para lo cual es ideal la utilización de tubos; es una forma de mantener baja la resistividad y la escasa formación de óxido; por otra parte es importante mantener el agua sin excesiva cantidad de sales que disminuyen la sección de pasaje.

A continuación se muestra los diferentes tipos de bobinas (ver Tabla 2.1) para el temple por inducción:

Nombre bobina	Método de aplicación y fabricación	Dibujo
1	2	3
Bobina de una sola espira	Para calentamiento de la superficie exterior. El tubo circular está hecho de cobre.	
Bobina cilíndrica de una espira.	Para calentamiento de la superficie interior. Está hecho de cobre.	

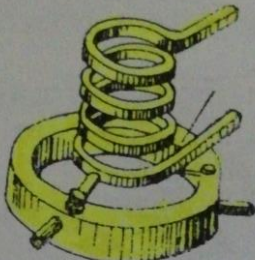
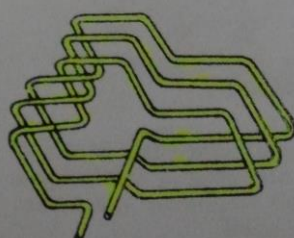
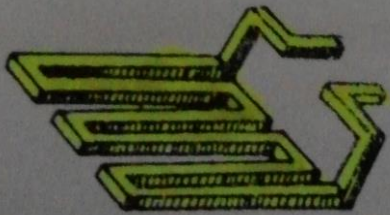
Bobina cilíndrica con múltiples espiras.	Para calentar piezas cilíndricas, utilizando la secuencia. Está hecho de cobre.	
Bobina de inducción con soporte vertical.	Para el calentamiento simultáneo a superficies por toda la altura de un cilindro, las piezas giran alrededor de su eje. Está hecho de cobre.	
Bobina de inducción cónico.	Para el calentamiento de engranajes cónicos y piezas cónicas. Está hecho de cobre.	
Bobina para calentamiento de superficies interiores.	Para calentar amplias superficies interiormente. Está hecho de tubo de cobre.	
Bobina en forma de zigzag.	Para calentar superficies planas. Está hecho de cobre.	
Bobina para el calentamiento de las cavidades del molde.	Está confeccionado de barras solidas de cobre.	

Tabla N° 2.1
Diferentes tipos de bobinas.

Temperatura en el temple por inducción:

El tiempo en el que se logra la austenización completa de un acero (véase Tabla N° 2.2.), depende de la estructura previa de la pieza y la velocidad de calentamiento. Para un acero eutectoide, el tiempo se reduce considerablemente ya que la temperatura de austenización es más baja (entre 740° y 760° C); pero si su estructura previa contiene cementita globular, el mismo se incrementa para lograr la total disolución de los glóbulos. En cambio, partiendo de una estructura templada y revenida, el tiempo se reduce notablemente.

% de carbono	T. de calentamiento por inducción (°C)
0,20	900 – 930
0,30	900 – 925
0,35	900
0,40	870 – 900
0,45	870 – 900
0,50	870
0,60	845 – 870
Mayor de 0,60	815 - 845

Tabla N° 2.2

Temperatura de austenización para distintos aceros, calentados por inducción.

Luego que la pieza es calentada gracias a un correcto diseño de la bobina de esa pieza y además el control de los parámetros del generador, comienza la fase de enfriamiento. Como ya se dijo anteriormente se pueden utilizar aceites, agua y otros, pero en inducción se utilizan medios líquidos basados en agua desmineralizada con cierto porcentaje de polímeros, según el requerimiento de la pieza.

Para que el proceso de enfriamiento sea correcto debe tenerse en cuenta el diseño de la ducha, parámetros de composición del líquido de temple y otros datos como son el caudal, la presión y la temperatura del líquido de enfriamiento.

Ventajas del temple por inducción:

Tiene una productividad máxima ya que la inducción es rápida, esto porque el calor se genera directa e instantáneamente en la pieza a utilizar, a modo de ejemplo, podría calentar a más de 1000°C en menos de un segundo. Este arranque para el calentamiento es virtualmente instantáneo, no es necesario precalentar ni tampoco enfriar.

También está involucrado la eficiencia energética, ya que convierte la energía consumida en calor útil en hasta un 90%. Además como no necesita ni precalentamiento, ni enfriamiento en los ciclos de trabajo, las pérdidas de calor cuando no se trabaja son mínimos.

Otro beneficio en este tipo de proceso es el control de automatización de éste, ya que elimina las inconsistencias y los problemas de calidad que se producen con llama, soplete u otros métodos. Una vez que el sistema este calibrado y puesto en marcha, no dará lugar a desviaciones, ya que los patrones de calentamiento son repetibles y consistentes. Con la fuente de alimentación adquirida por parte de la empresa se conseguirá temperaturas precisas que proporcionan resultados uniformes.

Con la inducción la pieza tratada jamás entrará en contacto con alguna llama u otro elemento de calor, ya que el calor se induce directamente a través de una corriente alterna. Como resultado, las tasas de alabeo del producto, la distorsión y el rechazo se reducen al mínimo.

El sistema propuesto en el seminario además no se quema por combustibles fósiles tradicionales. La inducción es un proceso limpio, no contaminante, que protege el medio ambiente. El calentamiento es seguro ya que no pone en peligro al operador, y al no utilizar llama abierta, no oscurece el proceso.

Otras aplicaciones del temple por inducción:

Si bien el presente seminario de título se está haciendo para sólo un tipo de pieza y proceso, existen diversas aplicaciones en las cuales se podrá utilizar el mecanismo de temple por inducción, en las cuales hay muchas, pero, en esta ocasión nombraremos las más importantes:

- Sellado de envases: Es un tipo de sellado en caliente. Para utilizar esta técnica las tapas han de ser suministradas con los discos de sellado. Éstos tienen que estar compuestos de una lámina de aluminio y una capa de polímero compatible con el material del envase a sellar. El sellado por inducción mantienen intacto los procesos de envasado y tapado.
- Forja: Consiste en la conformación de una pieza previamente calentada a temperatura en la que presenta una resistencia débil a la deformación. Este proceso es común en la fabricación de productos de sectores industriales.
- Fusión: Los materiales son llevados al interior de un crisol hasta su temperatura de fusión.
- Soldadura: Es el procedimiento de unir dos metales donde el material base se calienta a una alta temperatura superando su punto de fusión, entonces, aprovechando su estado líquido se mezclan para formar una unión con la fusión de todas las partes implicadas incluyendo el material de aporte si existiera. La ventaja de la soldadura por inducción es que se reduce el consumo de energía al ser el calor dirigido directamente a los labios del fleje y también no hay contacto físico entre la parte de inducción (bobina y fleje), menos mantenimiento.
- Procesos de vacío: Es donde se requiere una alta calidad de la pieza y consistencia del calentamiento. Las ventajas de hacerlo por inducción son ahorro energético, mejora de la eficiencia, reducción de gastos de explotación, las piezas pueden tener cualquier forma.

CAPÍTULO 3

PROPIEDADES DE EQUIPOS Y COTIZACIONES

ELEMENTOS NECESARIOS PARA EL TEMPLE POR INDUCCIÓN

- Generador de inducción
- Escáner vertical
- Sistema de refrigeración del equipo de inducción
- Agua, Refrigerante o Aceite de temple
- Eje SAE 1020 (pieza a utilizar en este Seminario de Título)

Descripción de cada componente(s):

Generador de inducción: También llamado generador asíncrono (ver fig. N° 3.1), es un tipo de generador de corriente alterna que utiliza los principios de inducción para producir energía. Este funciona girando mecánicamente su rotor más rápido que la velocidad de sincronismo, dando deslizamiento negativo.

Para hacer funcionar un generador de inducción debe ser excitado con un voltaje líder, esto se hace normalmente mediante la conexión a una red eléctrica, o, a veces son auto excitado mediante el uso de condensadores de corrección de fase.



Figura N° 3.1

Generador de inducción de la compañía GH Electrotermia

Escáner Vertical: Es un sistema que puede ser configurado con varios husillos para el agarre de la pieza (ver fig. N° 3.2), especial para operaciones de mediana y alta producción. Éste escáner vertical usa un rango de potencia y un rango de frecuencia, con fuentes de poder de estado sólido transistorizadas donde se pueden procesar piezas con un máximo de longitud y peso.

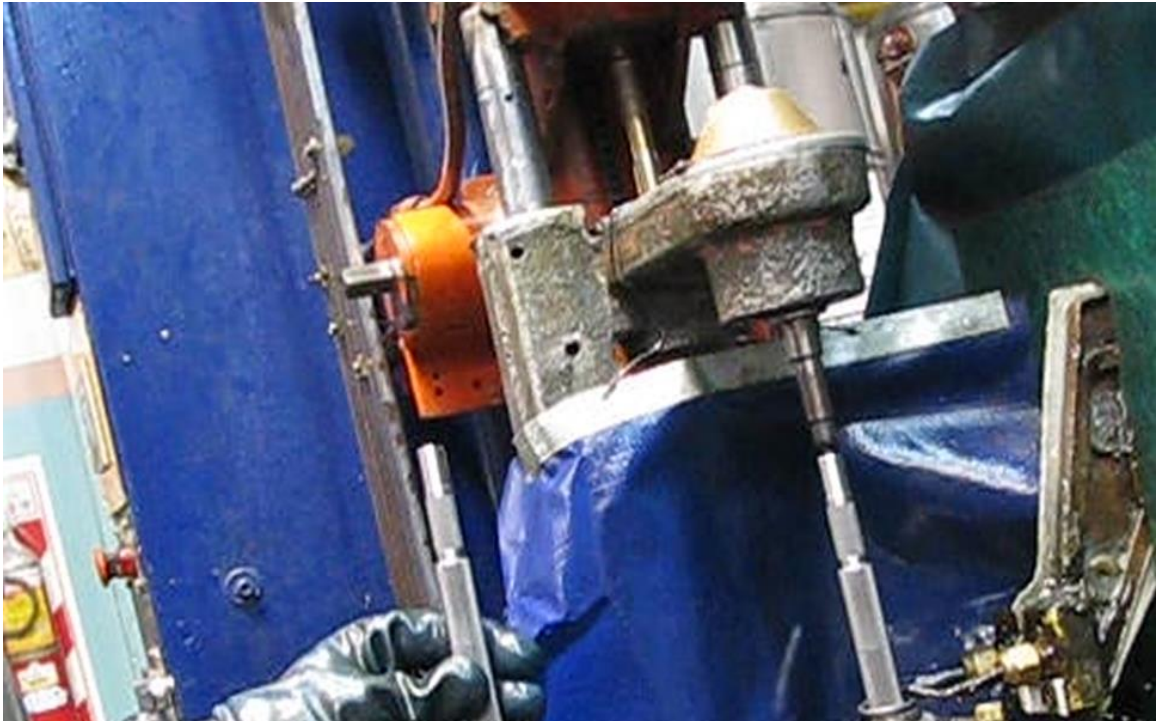


Figura N° 3.2

Mecanismo de escáner vertical en un temple por inducción de empresa Argentina.

Sistema de refrigeración del equipo de inducción: Es un circuito cerrado en donde el agua o aceite de la ducha del temple tiene un ciclo de refrigeración (ver fig. N° 3.3). Para lo cual es necesario un intercambiador de calor. Se utilizan además filtros, los cuales son muy importantes, ya que el agua no se contamina y no tapa las duchas del agujero del anillo de enfriamiento.



Figura N° 3.3

Circuito de enfriamiento en un temple por inducción de empresa Argentina.

Para este tipo de enfriamiento se utilizarán anillos en los cuales da una ducha a la pieza como un spray. Este anillo puede colocarse por debajo de la bobina de calentamiento, encima o a lo largo de la misma (adelante o atrás para bobinas horizontales), o bien, estar preparada la bobina de calentamiento con un sistema para el líquido enfriante en sí misma.

Los líquidos enfriantes pueden ser: agua, aceite, aceite soluble, polímeros solubles en agua o aire comprimido, según la templabilidad del acero. La temperatura de éstos debe ser controlada entre 15° y 30° C.

Otros detalles se refieren a la medida de los orificios, a la separación entre éstos, la separación entre las filas que los ordenan, el ángulo de ataque sobre la parte a enfriar, etc. La medida de los agujeros será la mínima posible, cabe mencionar que la limpieza deberá efectuarse periódicamente.

Es de mucha importancia el control de la temperatura del medio enfriante y, si fuera posible, el control de temperatura de las zonas calentadas y el tiempo de los ciclos de calentamiento. La no uniformidad del enfriamiento, el excesivo enfriamiento (especialmente en aceros muy templeables) y las superficies rugosas provocadas por las marcas de herramientas, son algunos factores que producen fisuras en la superficie templada por inducción.

A continuación se muestran dos sistemas de enfriamiento para inducción (ver figuras N° 3.4 y N° 3.5):

- Bobina y anillo de temple separado

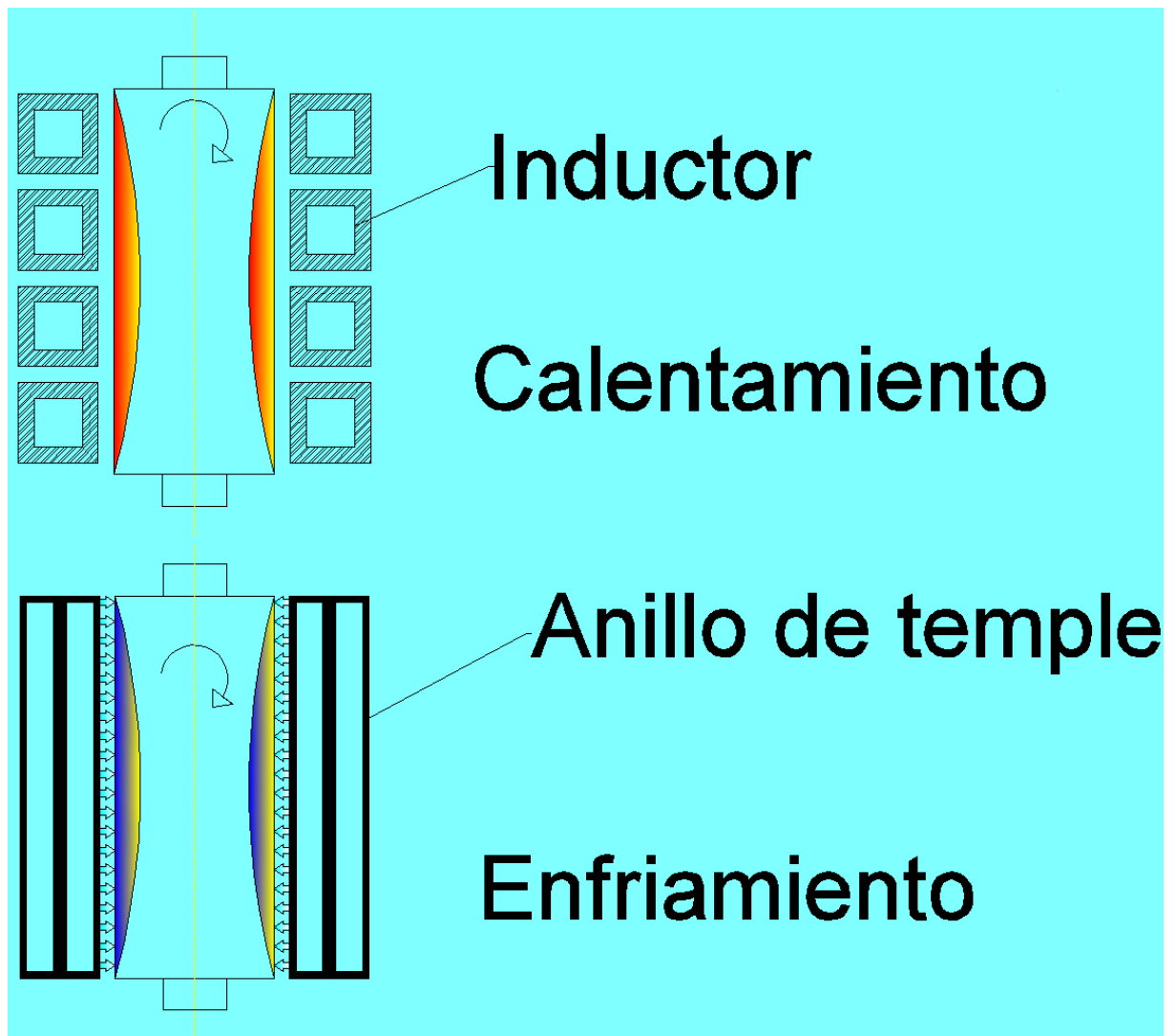


Figura N° 3.4

- Bobina y ducha integradas

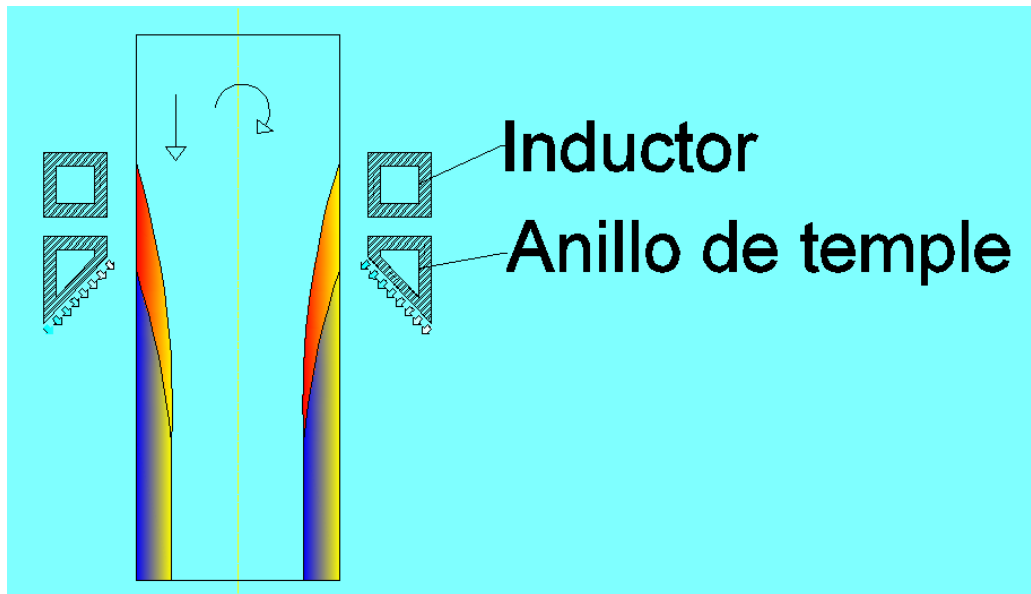


Figura N° 3.5

Agua, Refrigerante o Aceite de Temple: Fluidos para temple a base de polímeros o aceites minerales (ver fig. N° 3.6). Para temple por inmersión o por inducción. Modifican la velocidad de enfriamiento en el rango de temperatura comprendida entre los 950° C y los 360° C.



Figura N° 3.6

Agua desmineralizada en el proceso de enfriamiento.

Eje: El eje que se utilizará será de un Acero SAE 1020 (ver fig. N° 3.7) con las siguientes medidas:

- 3,5 pulgadas de diámetro.
- 80 centímetros de largo.

Este es un acero de bajo carbono, blando. 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.

Su composición química es de:

- C = 0,18 – 0,23 %
- Mn = 0,30 – 0,60 %
- P = 0,04 Máx.
- S = 0,05 Máx.

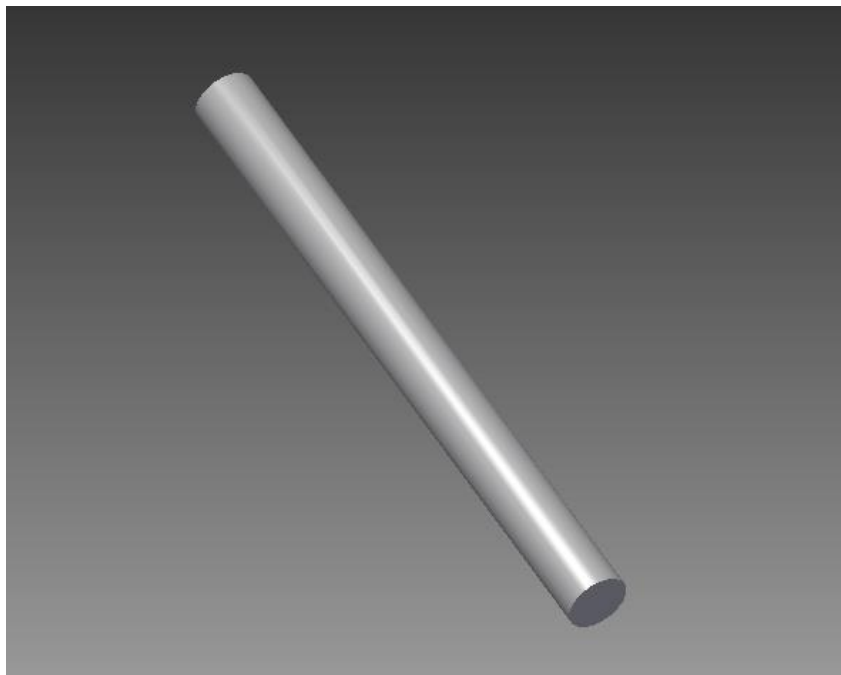


Figura N° 3.7

Eje de 3.5" de diámetro x 0.8 metro de largo

Para ser más específicos en lo que será el proceso, y así poder saber que potencia y frecuencia se trabajará más adelante (dependiendo de qué sistema se cotizará y/o comprará), se hará el cálculo del peso del eje.

Cálculo del peso del eje:

- Largo: 80 (cm) = 800 (mm)
- Diámetro: 3,5" = 88,9 (mm)
- Densidad Acero SAE 1020 = 7870 $\frac{kg}{m^3} = 7,87 \times 10^{-6} \frac{kg}{mm^3}$
- Área eje: $\frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 88,9^2}{4} = 6207,16 mm^2$

$$\text{volumen} = A \cdot L$$

$$\text{volumen} = 6207,16 \cdot 800 = 4965728 mm^3$$

$$\text{Peso} = \rho \cdot v$$

$$\text{Peso} = 7,87 \times 10^{-6} \times 4965728 = 39,0802 kg$$

Por lo tanto el peso del eje se aproximará a **40 (kg)** para futuros cálculos.

Además, 40 (kg) está dentro del rango para que pueda ser operado por solo una persona. Ya que según la Ley N° 20.001, que es la que regula el peso máximo de carga humana, establece que los trabajadores no deben operar cargas superiores a 50 kilogramos. Todo esto debe quedar a las condiciones físicas del trabajador que realizará la labor, factor que debe considerar el empleador al momento de ordenar la ejecución del trabajo.

COTIZACIONES

En esta sección del presente, se colocará un resumen de las cotizaciones que fueron hechas (no se presenta la oferta completa, ya que la empresa los considera como información confidencial), e información que proporcionaron ingenieros del exterior.

Cotización GH Electrotermia



Referencia	Cliente
BRL1269	ORECAL (Concepción, Chile)
Producto a tratar	Engranajes, piñones y ejes varios
Aplicación	temple

La presente oferta ref. BRL1269 corresponde al suministro de un generador de inducción según solicitud de ORECAL.

Composición del equipo:

- Generador de inducción a transistores
- Climatización del interior del armario del generador
- Batería de condensadores del circuito oscilante
- Cables de conexión MF generador – circuito oscilante
- Transformador de adaptación de impedancia de inductores
- Brazo de soporte y conexión de inductor(es)
- Equipo de refrigeración del equipo de calentamiento por inducción

Descripción del equipo:

- *Generador de inducción a transistores:* El generador de inducción es el equipo destinado a suministrar al sistema de calentamiento la señal de media o alta frecuencia necesaria para la transferencia de energía por inducción.

El generador de inducción se basa en un puente inversor que genera una onda cuadrada obtenida a partir de corriente continua. Ésta es obtenida mediante un rectificador que se alimenta de la corriente alterna de la red industrial.

La señal de media o alta frecuencia obtenida del generador de inducción circula a través de un circuito compuesto por una inductancia (inductor o bobina inductora) y una capacidad, conseguida mediante condensadores apropiados, que se comporta como circuito resonante serie o paralelo, según topologías.

El generador de inducción está equipado con un interfaz que sirve de panel de mando y de visualización de estados (véase fig. N° 3.8). Este interfaz sirve para maniobrar y controlar el sistema de calentamiento por inducción, pero el generador está también preparado para ser controlado desde un sistema exterior.

Este control exterior permite que el sistema de calentamiento por inducción se integre en una instalación o máquina gobernada por un automatismo general.

Modelo: PM100

Potencia de salida: 100 kW

Rango de frecuencia nominal: 20-100 kHz

Tensión de entrada: 3x380 V

Tensión MF/HF: 550 V

Eficiencia energética: 92%

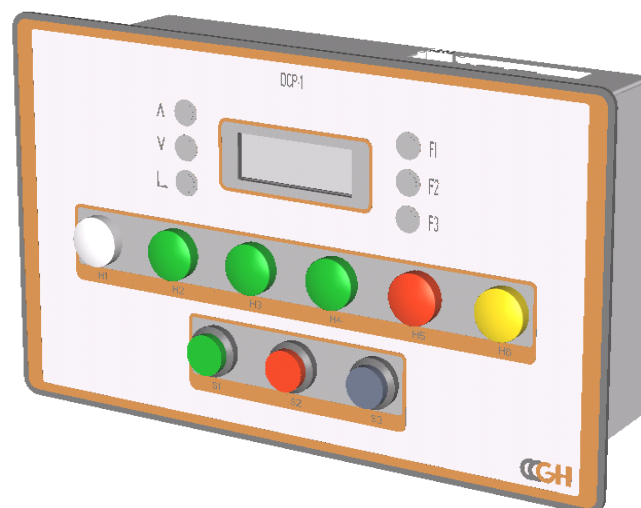


Figura N° 3.8
Panel de mando

- *Batería de condensadores:* Es un equipo que por su naturaleza capacitiva, permite reducir considerablemente la demanda de energía reactiva de la red. Facilita la estabilización y calidad de suministro, optimizando el dimensionamiento y el rendimiento de la instalación.

Frecuencia de trabajo prevista: 100 kHz

- *Transformador de adaptación de impedancia de inductores:* Este es un dispositivo destinado a aumentar la inductancia propia del inductor para establecer un circuito oscilante (fija la frecuencia de trabajo del sistema de calentamiento por inducción) de potencia apta para asegurar el calentamiento por inducción.
- *Sistema de refrigeración del equipo de inducción:* La refrigeración se basa en un circuito cerrado que pasa por todos los elementos sometidos a calentamiento por el que se establece una circulación continua de refrigerante.

El refrigerante empleado es agua desmineralizada (prácticamente inerte, dieléctrica y no contaminante). La escasa presencia de sales reduce el riesgo de obstrucción del circuito por precipitación y fijación de sólidos.

El refrigerante es a su vez enfriado a través de un intercambiador en el que se transfiere el calor a otro refrigerante, por lo general agua industrial (agua sin requerimientos químicos particulares).

Finalmente, el agua industrial es refrigerada en una torre de refrigeración o máquina frigorífica.

Modelo: R3

Temperatura de agua industrial demandada: 28 °C

Presión de agua industrial: 3-7 bares

Tipo de intercambiador (placas soldadas o desmontables): Soldadas

Este sistema (ver fig. 3.9) se destina a evacuar el calor sin contacto entre el agua desmineralizada y el refrigerante secundario (usualmente, agua industrial). La ejecución estándar es adosada al armario del generador y sus componentes principales son:

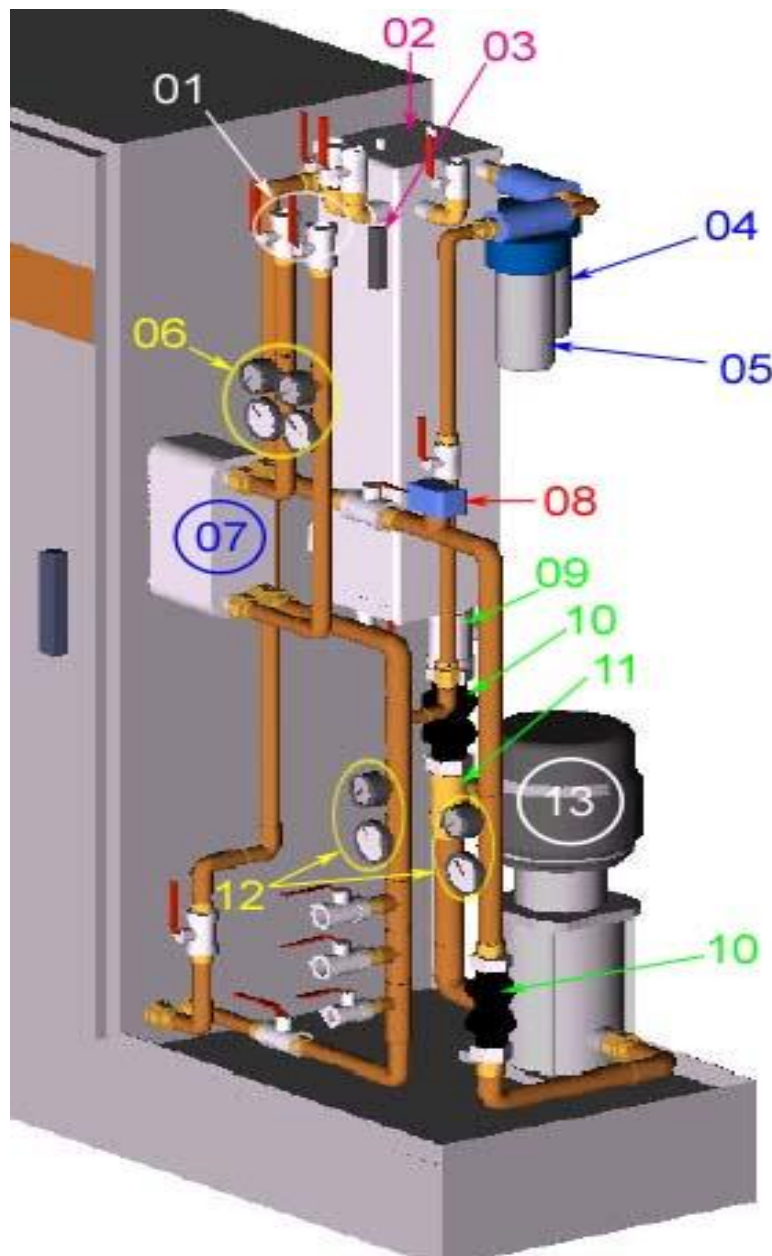


Figura N° 3.9

Sistema R3 de mantenimiento de temperatura del refrigerante

01: Entrada/salida de agua industrial: punto de alimentación del sistema.

02: Tapa de acceso al depósito de agua desmineralizada.

- 03: Indicador de nivel del depósito de agua desmineralizada.
- 04: Filtro de protección del circuito contra partículas en circulación.
- 05: Vaso de resina desionizadora.
- 06: Termómetros y manómetros de control de colmatado del circuito primario.
- 07: Intercambiador de calor agua industrial/ agua desmineralizada (nota: el intercambiador de calor representado en el esquema es el estándar, de placas soldadas: en función de las condiciones específicas o a petición del cliente, este intercambiador puede ser de placas desmontables).
- 08: Termostato de protección.
- 09: Válvula de vaciado de la cuba de agua desmineralizada.
- 10: Manguitos elásticos de atenuación de vibraciones.
- 11: Filtro de rejilla de protección de la bomba.
- 12: Termómetros y manómetros de control de colmatado del circuito secundario.
- 13: Bomba (nota: la bomba representada es de tipo vertical; en función del caudal y de las condiciones específicas a aplicar, esta bomba puede ser de tipo horizontal).

Ventajas del generador de inducción GH: La técnica de construcción empleada en el generador propuesto (ver fig. N° 3.10) ofrece:

- 1) Elevado rendimiento energético: alrededor del 92% sobre un extenso rango de frecuencias.
- 2) Facilidad de mantenimiento: la construcción modular y la utilización de componentes estándar de libre aprovisionamiento en el mercado facilitan las operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo.
- 3) Seguridad de funcionamiento: la electrónica de control mantiene los semiconductores siempre protegidos contra fallos internos y externos (ruptura de inductor, cortocircuito, sobretensiones, etc.).

Condiciones de entrega y garantía: La presente oferta está establecida según las condiciones generales de venta y la normativa de GH Electrotermia S.A.

Garantía: El cliente tendrá derecho a la reposición de la pieza o piezas defectuosas siempre que el defecto tenga su origen directo en la fabricación o el material de la misma. El derecho de reposición se limita a la reparación o sustitución de la pieza defectuosa por otra nueva y no comprenderá abono de ninguna clase, siendo todos los gastos de la reposición, en particular el transporte, a cargo del cliente. La garantía no ampara los defectos provenientes del desgaste o de la mala conservación y/o utilización de los productos por el cliente. El plazo de validez de la garantía será: un año, materiales incluidos y mano de obra excluida.

Para el correcto ejercicio de este derecho, el cliente deberá comunicar por escrito a GH Electrotermia el defecto y las piezas afectadas, indicando los relativos a la compra (fecha y número de factura).

Forma de pago: El valor de lo estipulado anteriormente es de 225.000 Reales Brasileños (48.333.195 pesos chilenos al día sábado 21 de febrero de 2015). El precio será pagado en los siguientes términos:

- 30 % como conformación del pedido y;
- 70 % carta de crédito irrevocable confirmada y pagada en banco español contra documentos de embarque.

Plazo de entrega: Tres meses. El plazo de entrega se entiende establecido desde el momento de la formalización del contrato por ambas partes y recepción del anticipo de confirmación del pedido.



Figura N° 3.10

Generador de inducción ofrecido por la empresa GH Electrotermia.

Contacto:

Ing. María Aurora Polakovic

Tatra S.A.-Licenciataria GH Electrotermia map@tatrassa.com.ar

+54 11 4709 4156

+54 11 4709 0390

Cotización ElectroHeat Induction
ELECTROHEAT INDUCTION
Induction Melting & Heating Solutions

Asunto: Máquina de temple por inducción de 75 kW / 30-15 kHz con escáner vertical de 1000 milímetros.

Estimado Sr. Gustavo, esto es en relación a su consulta por correo electrónico con respecto a sus necesidades de temple por inducción.

Agradeciendo a usted, atentamente Charlie Parsana.

Cotización:

N°	Descripción	Cantidad	Precio en US \$
1	Unidad de alimentación IGBT 75 kW / 30 – 15 kHz. (Ver fig. N° 3.11) Este consta de: - Generador frecuencia media con tecnología IGBT, potencia de 75 kW y 30 – 15 kHz. - Sistema de monitoreo de la conductividad del agua. - Registro de datos de consumo de energía y fuente de alimentación en formato .csv, para el análisis y depuración. - Comunicador RS-485. - Planos de cableado y manual de operación.	1	100,000
2	Escáner vertical de 1000 mm (ver fig. N° 3.12) para el movimiento de trabajo. Este consta de: - Escáner vertical servo controlado, manual de carga y descarga para la gestión en trabajos de neumática. - Transformador, batería de condensadores. - Control automatizado programable con pantalla de 7" HMI, táctil, a color; instrumentación relevante.	1	

	- Bobinas de endurecimiento por inducción apto para el temple, en el caso del eje mencionado de 800 mm x 3,5" de diámetro.		
3	Otros auxiliares y accesorios: - Unidad de circulación de agua DM que consiste en el intercambiador, bomba no ferrosa, tanque de almacenamiento, cartucho de resina, medidores y válvulas para la refrigeración de la unidad de la fuente de alimentación, juego de transformadores, banco capacitor e inductor. - Barras de cobre y cables de la fuente de alimentación del escáner vertical. - Material de construcción que consiste en mangueras de goma libres de carbono, sujetador, accesorios, etc.	1	

Precio final: US \$100.000 (\$ 62.111.800 pesos chilenos al 24 de febrero de 2015).

Especificaciones técnicas:

N°	Descripción	Especificaciones
1	Potencia nominal	75 kW
2	kVA de entrada	80 kVA
3	Tecnología de generador	IGBT
4	Línea del factor de potencia en cualquier condición de carga	Sobre 0.97
5	Fuente de alimentación, voltaje de entrada (alrededor del 5% de variación en la tensión es permisible)	480 Volt
6	Frecuencia de entrada	60 Hz
7	Rango de frecuencia de salida	30 – 15 kHz
8	Longitud del escaneado	Hasta 1000 mm (ajustable)
9	Tipo de mecanismo	Tipo de movimiento: la bobina será fija.

Términos y condiciones:

- Validez: 30 días a partir de la fecha de esta cotización.
- Carga embalaje: En efectivo, a su cuenta.
- Carga con seguro de tránsito: En efectivo, a su cuenta.
- Periodo de entrega: 4 a 5 meses luego de que se confirme la orden y pago.
- Condiciones de pago: 40% por adelantado, 50% con factura antes de su expedición, 10% después de la instalación.
- Garantía: 24 meses a partir de la fecha de puesta en servicio o 30 meses desde la fecha de compra y envío.



Figura N° 3.11

Unidad de la fuente de alimentación



Figura N° 3.12
Mecanismo de escáner vertical

Contacto:

ELECTROHEAT INDUCTION INC.
Charlie Parsana
PH: 908 494 0726 Email: sales@electroheatinduction.com

Datos técnicos



Empresa: Tratamientos térmicos Traterh S.A.

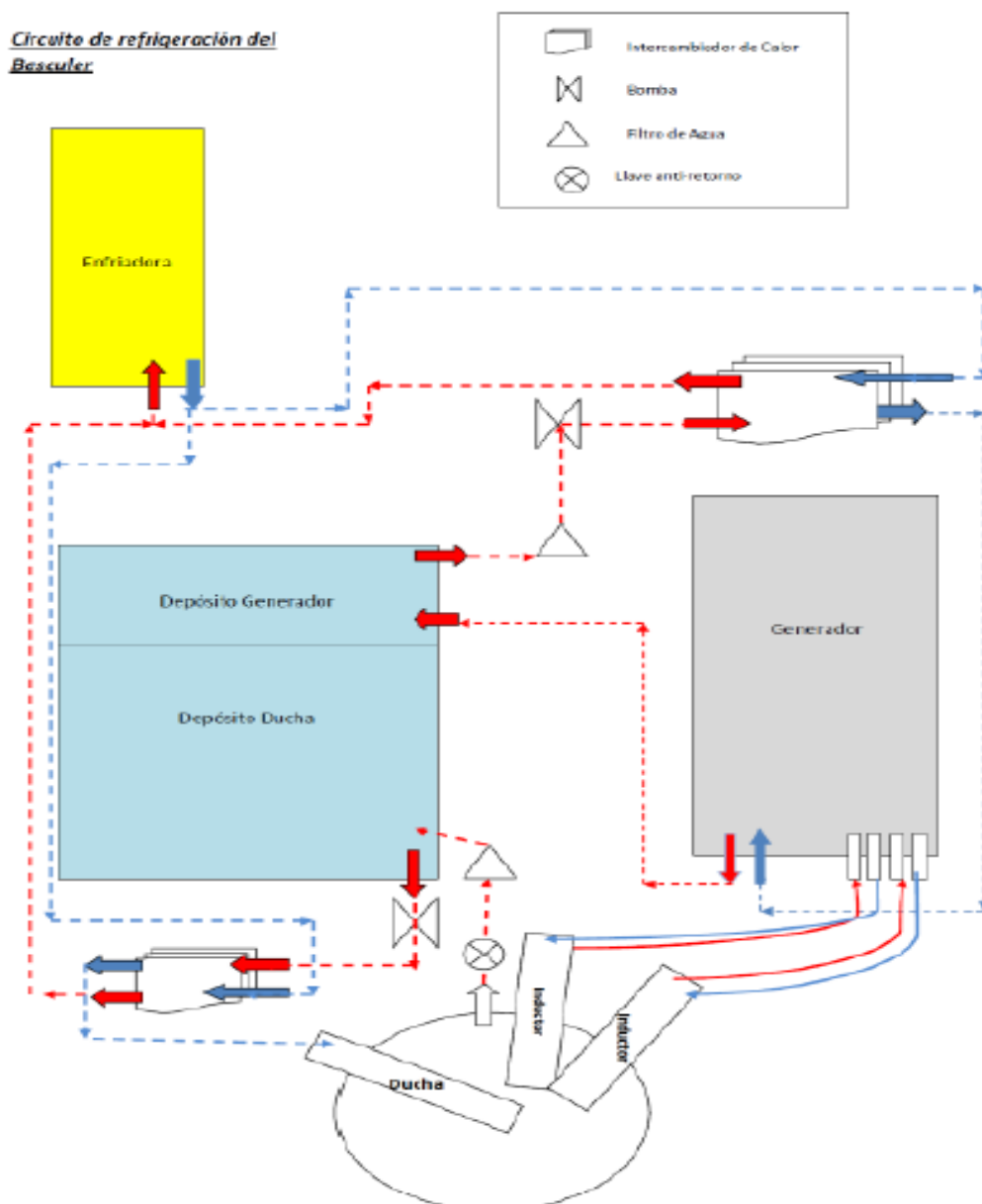


Figura N° 3.13

Circuito de refrigeración que tiene implementado en la empresa.

También se proporcionó la información de la profundidad del temple a diferentes frecuencias:

- Temple por inducción (cont).-
 - Efecto de la frecuencia en la profundidad

FRECUENCIA (Hz)	Profundidad teórica de penetración de energía eléctrica (mm)	Profundidad práctica de la dureza de la porción externa (mm)
1.000	1,5	4,5 ÷ 9
3.000	0,9	3,8 ÷ 5
10.000	0,5	2,5 ÷ 3,9
120.000	0,15	1,5 ÷ 2,5
500.000	0,008	1 ÷ 2
1.000.000	0,005	0,25 ÷ 0,76

Tabla N° 3.1

Rangos de frecuencia y su influencia en la profundidad de temple por inducción.

Contacto:

Luis Martín

Gerencia de planta

T. Térmicos TRATERH, S.A.U

CL ALCOTANES, 32

28320 Pinto, Madrid.

Móvil: 606960494

Tel.: +34 916923330

Fax: +34 916920880

Email: Luis.Martin@trateriber.es



Empresa: Ambrell, uma Companhia Ameritherm

En esta ocasión, el representante de la empresa envió un par de fotos en donde muestra parte del proceso:



Figura N° 3.14

Ducha de enfriamiento mientras la bobina aún está en proceso de temple.



Figura N° 3.15

Engranaje en pleno proceso de temple por inducción.

Contacto:

Marcos Félix
Ambrell, uma Companhia Ameritherm
Telefone: +55.19.3816-1659
Celular: +55.19.99683-7918
mfelix@ambrell.com
www.ambrell.com.br



Empresa: ElectroHeat Induction Inc.

Se proporciona información sobre las funciones del calentamiento por inducción y los servicios que ofrece:

- Avanzada tecnología IGBT.
- Revolucionario circuito de control de potencia máxima con autoajuste.
- Registro de información automatizado, generación de reportes y ciclo de calentamiento generado.
- Controlador lógico programable (PLC) y el HMI a color proporciona una mejor interfaz para el operador.
- Diseño robusto para una operación segura con una alimentación de entrada con fluctuaciones.
- Factor de potencia arriba del 0.96 en todas las condiciones.
- Banda de frecuencia ancha para múltiples aplicaciones de calor.
- Diseño aislado y altamente seguro.
- Suministro de energía fácil de sincronizar con un sistema de manejo de materiales.
- Soporte técnico continuo.
- Cifras excepcionales de consumo de energía y tasas de producción.
- Hasta 99 recetas programables (esto es kW, tiempo, etc.) para diferentes ciclos de sinterización.
- Pantalla gráfica detallada y generación de reportes.
- Combinación perfecta de carga con características concordantes.
- Gran variedad de aplicaciones de calentamiento.

Contacto:

Charlie Parsana
Electroheat Induction Inc.
9 Spruce Street,
Jersey city, NJ 07306 USA
www.electroheatinduction.com
sales@electroheatinduction.com
Skype: electroheatinduction
PH: 001 (908) 494 - 0726

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS Y DECISIÓN FINAL PARA LA COMPRA

En este capítulo se hará un análisis de las ofertas, con información adicional que el vendedor ha proporcionado a través de correo electrónico, y por ende, influye mucho en la decisión final de compra.

Para simplificar mejor las dos cotizaciones, se hará un cuadro comparativo.

Ventajas:

	GH Electrotermia	ElectroHeat Induction Inc.
V E N T A J A S	- Cotización más económica. - Transformador de adaptación de impedancia de inductores. - Refrigeración del generador y bobina.	- Contiene PLC, para programar secuencias de trabajo. - Diseño nuevo. - Soporte técnico en línea. - Contiene el mecanismo de escáner vertical. - Garantía de 24 meses desde la fecha de instalación. - Bobina de cobre requerido para la empresa (800 mm de largo x 3.5" de diámetro) incluido. - Factor de potencia sobre el 96%. - Diseño del anillo de enfriamiento hecho por ellos mismos. - Refrigeración del generador y bobina. - Capacitación al ingeniero encargado dentro del precio señalado. - Viene casi todo incluido, lo único que falta es la torre de refrigeración para el circuito de refrigeración del aceite de temple. - 5% de descuento en el precio.

Desventajas:

	GH Electrotermia	ElectroHeat Induction Inc.
D E S V E N T A J A S	- Solo incluye el generador (con refrigeración de él y la bobina), por lo cual habría que cotizar el mecanismo de escáner vertical, anillo de enfriamiento, bobina, circuito de refrigeración para el aceite de temple, etc.). - Generador usado. - Diseño antiguo. - No tiene descuento alguno. - Gasto mensual eléctrico más elevado.	- Potencia de generador más pequeño. - Condiciones de pago más exigentes.

Luego del análisis proporcionado anteriormente, el informe es entregado para que el gerente de la empresa lo revise y pueda con su equipo de ingenieros, tomar alguna determinación e informarla al alumno que investiga el presente seminario de título. (Fecha: lunes 9 de febrero de 2015).

Decisión final:

La dirección de la empresa con fecha lunes 16 de febrero de 2015, determina que la cotización de ElectroHeat Induction Inc. es la favorecida para aplicar el proyecto, por las siguientes razones:

- Sólo habría que cotizar el sistema de refrigeración para el aceite de temple.
- Moderno en comparación a otros sistemas de mecanismos de temple por inducción. Ya que la empresa debe estar a la altura de nuevas tecnologías.
- Sistema PLC que contiene.
- Capacitación incluida dentro del precio.
- El IVA viene incluido dentro del precio.
- El precio final tiene un 5% de descuento, es decir: \$ 59.006.210 pesos chilenos.
- Vendedor explica detalladamente a través de correos electrónicos cualquier duda que se presente.
- Soporte técnico en línea. Si no es así, envían un ingeniero desde Estados Unidos (cargos por parte de empresa ORECAL LTDA.) para solucionar el problema.

A continuación se entregan más imágenes enviadas gentilmente por Charlie Parsana, para conformidad de la compra de parte de ORECAL LTDA. (Ver figuras N° 4.1, 4.2 y 4.3).



Figura 4.1

Generador eléctrico con sistema de refrigeración.



Figura N° 4.2

Sistema de refrigeración y generador.



Figura N° 4.3
Interior del generador eléctrico.

CONCLUSIONES

El presente Seminario de Título estudia los fundamentos teóricos del temple por inducción, las ofertas o cotizaciones y finalmente se realiza un análisis de lo anterior para lograr la determinar la mejor opción para ORECAL LTDA.

A futuro, no solamente se podrá realizar el temple por inducción al eje que la empresa solicita, sino que basta con cambiar el programa y además el diseño de la bobina (como ya se mencionó, uno de las factores más importantes dentro de este tratamiento térmico) para implementar otros ciclos en los cuales se pueda temprar ejes de otras medidas (con un máximo de 1000 mm), bujes, engranajes, etc.

La cotización del sistema de enfriamiento para el aceite de temple es aparte, a cargo del personal de ingenieros de ORECAL LTDA.

El temple por inducción es un proceso rentable, limpio, muy eficiente y con periodos de preparación mínimos.

Un punto muy importante dentro de la decisión final es la tecnología del producto, ya que contiene una pantalla táctil, en donde puede modificarse tanto la potencia como la frecuencia, para realizar un proceso eficiente.

El eje de 800 mm de largo y 3.5" de diámetro para que tenga una penetración de temple de 2 mm debe funcionar con la potencia de 75 kW y frecuencia de 15 a 30 kHz.

El objetivo de este Seminario de título es la implementación del mecanismo, lo cual está en trámites de envío, como ya se dijo anteriormente, se demora 4 a 5 meses. Por lo tanto el objetivo general y específicos se dan por cumplidos.

BIBLIOGRAFÍA Y LINKOGRAFÍA

- Tratamiento térmico de los metales – Molera Sola, Pedro.
- Tratamientos térmicos de los aceros – José Apraiz Barreiro.
- <http://www.ghinduction.com/process/temple-y-revenido/?lang=es>
- http://www.uam.es/personal_pas/mcuenca/mifiles/Desarrollo%20de%20un%20equipo%20de%20calentamiento%20por%20inducccion.pdf
- <http://www.efd-induction.com/~media/PDF/Applications/ApplicationsESP.ashx>
- [http://www.escuelainq.edu.co/uploads/laboratorios/1537 tratamiento termicosr2.pdf](http://www.escuelainq.edu.co/uploads/laboratorios/1537_tratamiento_termicosr2.pdf)
- <http://es.wikipedia.org/wiki/>
- Etc.