



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA MECÁNICA DE  
LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS**

**Luis Eduardo Barrera Guevara**

Asesorado por el Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortíz

Guatemala, noviembre de 2010



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**LUIS EDUARDO BARRERA GUEVARA**

ASESORADO POR EL ING. HUGO LEONEL RAMÍREZ ORTÍZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2010



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	P.A. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
EXAMINADOR	Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga
EXAMINADOR	Ing. Randolpho Chang Granados
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, el 13 de mayo de 2010

  
Luis Eduardo Barrera Guevara



Guatemala, 18 de Noviembre de 2010

Ing. Julio Campos Paíz  
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Campos:

Adjunto envío a usted el informe final del trabajo de graduación: **“CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS”**, elaborado por el estudiante Luis Eduardo Barrera Guevara, con carné 2006-11536, el cual he asesorado y por este medio doy como satisfactorio, por lo que me permito remitírselo para que prosiga con los trámites correspondientes para su aprobación.

Por la atención que la misma le merezca, me suscribo de usted,

Atentamente,



Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz  
Colegiado No. 5545





El Coordinador del Área de Materiales de Ingeniería de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS, del estudiante Luis Eduardo Barrera Guevara, recomienda su aprobación.

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
**Coordinador de Área**

Guatemala, Noviembre de 2010

/behdei





El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria, al Trabajo de Graduación titulado CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS, del estudiante **Luis Eduardo Barrera Guevara**, Procede a la autorización del mismo.

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**



  
Ing. Julio César Campos Paiz  
**Director**

Guatemala, noviembre de 2010

/behdei





DTG. 411.2010

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS**, presentado por el estudiante universitario **Luis Eduardo Barrera Guevara**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

A large, handwritten signature in black ink, enclosed within a hand-drawn oval shape.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 30 de noviembre de 2010.



/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por su infinito amor y ayuda en cada una de las etapas de mi vida, por permitirme alcanzar una meta más.
<b>Mis padres</b>	Hugo Barrera y Esperanza de Barrera, por estar a mi lado apoyándome, cuidándome y guiándome en el camino de la vida.
<b>Mis abuelos</b>	Casimiro Barrera e Isabel de Barrera, por haber sido como mis segundos padres.
<b>Mis hermanos</b>	Hugo Barrera y Nicolle Barrera, por ser una ayuda y compartir grandes momentos de mi vida juntos.
<b>Mi familia</b>	Abuelos, Tíos y Primos.
<b>Mis amigos</b>	Personas con gran corazón, con quienes he compartido momentos especiales.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **Dios**

Por estar conmigo en cada paso de mi vida, darme siempre de su sabiduría e inteligencia y permitirme alcanzar la primera de muchas metas propuestas.

### **Mis padres**

Hugo Rubén Barrera y Esperanza de Barrera, por el amor, apoyo, confianza y consejos que me han permitido ser la persona que soy ahora.

### **Mis abuelos**

Casimiro Barrera e Isabel de Barrera, por haber sido como mis segundos padres.

### **Mis hermanos**

Hugo Barreda y Nicolle Barrera por su apoyo y cariño demostrados en cada día de la vida.

### **Mi familia**

Abuelos, tíos y primos por ser parte de mi vida y compartir conmigo momentos especiales.

**Mis amigos**

Por estar siempre ahí en momentos buenos y malos haciendo más interesante el diario vivir.

**Universidad de  
San Carlos de Guatemala**

Por cinco gloriosos años de estudio

**Los Ingenieros**

Hugo Ramírez, Carlos Pérez y Julio Campos por el apoyo, la confianza y la amistad, así como al claustro de maestros de la escuela de Ingeniería Mecánica.

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	V
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	IX
<b>GLOSARIO</b>	XI
<b>RESUMEN</b>	XV
<b>OBJETIVOS</b>	XVII
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XIX
<b>1. GENERALIDADES</b>	1
1.1. Misión	1
1.2. Visión	1
1.3. Filosofía	1
1.4. Slogan	2
1.5. Logotipo	2
<b>2. TRATAMIENTOS TÉRMICOS</b>	3
2.1. Tipos de tratamientos térmicos	3
2.1.1. Temple convencional y revenido	3
2.1.2. Recocido	5
2.1.3. Cementación	6
2.1.4. Normalizado	9
2.2. Hornos para tratamientos térmicos	10
2.2.1. Horno de mufla para el trabajo de piezas pequeñas	13
2.2.2. Horno de cámara para piezas mayores	15
2.2.3. Hornos de campana	16
2.2.4. Hornos de sales	17

2.2.5. Hornos de solera móvil	19
2.3. Cotizaciones de los equipos	21
2.4. Consumo de energía de los hornos	24
2.5. Consumo de combustible de los hornos	25
2.6. Ventajas del tratamiento térmico	27
2.7. Desventajas del tratamiento térmico	28
2.8. Características generales de los metales	28
<b>3. ESPECTROMETRÍA</b>	<b>43</b>
3.1. Espectrometría	43
3.1.1. Tipos de espectrometría	45
3.1.2. Métodos Espectrométricos	47
3.2. Fundición de hierro (Análisis inicial del proceso)	47
3.2.1. Clasificación de las fundiciones	50
3.2.2. Propiedades de los materiales fundentes	52
3.2.3. Ventajas e inconvenientes de las fundiciones	54
3.3. Aceros al carbono y baja aleación	55
3.4. Aceros grado herramienta (Clasificación de aceros)	58
3.4.1. Clasificación de los aceros	59
3.4.2. Características mecánicas y tecnológicas de Los aceros	61
3.4.3. Diagrama hierro-carburo de hierro	64
<b>4. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS</b>	<b>69</b>
4.1. Líquidos penetrantes coloreados y fluorescentes	69
4.1.1. Clasificación de líquidos penetrantes	71
4.2. Ultrasonido para determinar defectos y evaluación de	72
4.2.1. Equipo para ensayos con ultrasonido	73
4.2.2. Aplicación del ultrasonido	76

4.3. Radiografía Industrial	80
4.3.1. Equipo de rayos X	83
4.4. Normas para ensayos no destructivos	87
4.5. Cotizaciones de los equipos	91
<b>5. FUNDICIÓN DE METALES</b>	<b>105</b>
5.1. Etapas del proceso de fundición de los metales	105
5.2. Análisis de arenas para fundición	107
5.2.1. Propiedades de la arena para fundición	108
5.2.2. Clasificación de la arena para fundición	109
5.3. Fusión de aleaciones no ferrosas	110
5.4. Hornos para fundición	112
5.4.1. Clasificación	113
5.4.2. Características	120
5.5. Fusión de aleaciones ferrosas	124
5.6. Implementación de procesos de colada no convencional	125
5.6.1. Características del proceso de colada no Convencional	126
5.6.2. Ventajas del proceso de colada no convencional	128
5.6.3. Desventajas del proceso de colada no convencional	128
<b>6. METALOGRAFÍA</b>	<b>137</b>
6.1. Metalografía	137
6.1.1. Equipo metalográfico	137
6.1.1.1. Cortadora metalográfica	138
6.1.1.2. Embutidora metalográfica	138
6.1.1.3. Pulidora metalográfica	139
6.1.1.4. Microscopio	141
6.1.2. Cotizaciones del equipo	144

6.2. Análisis de estructuras de metales	147
6.3. Identificación de materiales	148
6.4. Análisis de dureza y microdureza	150
6.5. Documentación fotográfica de estructuras cristalinas	153
<b>7. CÁMARA CRIOGÉNICA</b>	<b>161</b>
7.1. Tratamientos criogénicos	161
7.1.1. Antecedentes	161
7.1.2. Definición y tipos de proceso	163
7.1.3. Efectos y materiales	166
7.1.4. Teorías relativas a los tratamientos criogénicos	168
7.1.5. Aplicación de los tratamientos criogénicos	170
7.1.6. Ejemplos de aplicación	171
7.2. Clasificación de cámaras criogénicas	174
7.2.1. Tipos de cámaras criogénicas	175
7.2.2. Utilización de cámaras criogénicas	176
7.2.3. cotización de cámara criogénica	179
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>185</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>187</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>189</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>191</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Centro de Investigaciones Ingeniería Mecánica	2
2. Régimen de tratamiento térmico de piezas cementadas	8
3. Proceso de normalizado del acero	9
4. Horno de mufla	14
5. Horno de cámara	16
6. Horno de campana	17
7. Horno de sales	18
8. Horno de solera móvil	20
9. Proceso de combustión de los hornos	26
10. Diagrama del proceso de fundición de metales	49
11. Diagrama hierro-carburo de hierro	65
12. Maza/Carga vs. abundancia relativa	68
13. Ensayo por líquido penetrante	70
14. Fuga en línea de aire a presión	77
15. Monitoreo de rodamientos	78
16. Lubricación acústica	79
17. Requisitos de corriente para magnetización circular	96
18. Horno de cámara	114
19. Tejas para hornos de canal	115
20. Horno de reverbero	116
21. Horno de cuba (cubilote)	117
22. Horno rotatorio	118
23. Horno eléctrico	119
24. Proceso de colada no convencional o continua	126

25. Embutidora metalográfica	139
26. Pulidora metalográfica	140
27. Microscopio de Van Leeuwenhoek	141
28. Red cubica centrada en el cuerpo	153
29. Red cúbica centrada en las caras	154
30. Red hexagonal compacta	155
31. Procesador criogénico multietapa Cryobest®	165

## TABLAS

I. Tratamientos térmicos ACEROS 1019	11
II. Propiedades mecánicas mínimas estimadas según SAE J1397	11
III. ACERO 1018	12
IV. Clasificación de los hornos de mufla	14
V. Características de los hornos de cámara	16
VI. Características de los hornos de sales	19
VII. Características de los hornos de solera móvil	20
VIII. Características generales de los metales	30
IX. Designación, propiedades mecánicas mínimas, composiciones Aproximadas y aplicaciones típicas de varias fundiciones grises, Dúctiles y maleables	53
X. Clasificación de los aceros para herramientas (AISI)	59
XI. Clasificación de los aceros	59
XII. Especificaciones del ULTRAPROBE 201 Grease Caddy	74
XIII. Especificaciones del ULTRAPROBE 10,000	76
XIV. Modelos de equipo de Rayos "X"	84
XV. Modelos YXLON-SYSTEM para Rayos "X"	86
XVI. Normas para ensayos no destructivos	87
XVII. Características de los sistemas cristalinos	148

XVIII.	Nivel de calidad	191
XIX.	Imperfecciones en radiografías y su nivel de calidad	191
XX.	Rayos X	192



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Simbología</b>	<b>Significado</b>
Al	Aluminio
C	Carbono
cm <sup>2</sup>	Centímetro Cuadrado
$\alpha$	Coefficiente de dilatación
F-125	Clasificación del acero
Cr	Cromo
HRC	Dureza Rockwell C
°F	Grados Fahrenheit
Fe	Hierro
kg	Kilogramo
Psi	Libra sobre pulgada cuadrada
MHz	Mega Hertz
mm	Milímetros
CO	Monóxido de Carbono
Ni	Níquel
%	Porcentaje
RT	Radiografía Industrial
m/z	Relación masa/número de carga
°C	Temperatura en grados Celsius
Tm	Toneladas Métricas
$\Phi$	Trifásico
V	Voltaje
Zn	Zinc



## GLOSARIO

<b>Alúmina</b>	Es el óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Junto con la sílice, es el componente más importante en la constitución de las arcillas y los esmaltes, confiriéndoles resistencia y aumentando su temperatura de maduración.
<b>Austenita</b>	La austenita es una forma de ordenamiento distinta de los átomos de hierro y carbono
<b>Austentizado</b>	Calentamiento de un acero o hierro fundido a una temperatura donde puede transformarse en austenita homogénea.
<b>Epoxídica</b>	Pintura que posee resina epoxídica como ligante, que incrementa la resistencia a la corrosión, abrasión y a los productos químicos. También llamada pintura epoxi.
<b>Eutéctico</b>	Reacción de tres fases en la cual una fase líquida se transforma en dos fases sólidas.
<b>Eutectoide</b>	Reacción de tres fases en la que una fase sólida se transforma en dos fases sólidas diferentes.

<b>Fisura</b>	Defecto de soldadura que indica una separación o la pérdida de homogeneidad ya sea del material base o bien, en el material de soldadura depositado.
<b>Martensita</b>	Es el nombre que recibe la fase cristalina BCT, en aleaciones ferrosas.
<b>Metales Ferrosos</b>	Son aquellos que están basados en el hierro, entre los de mayor importancia son el hierro y el carbono. Estas aleaciones se dividen en dos grupos: los aceros y las fundiciones de hierro.
<b>Metales no Ferrosos</b>	Son más resistentes a la corrosión o a la humedad, pueden utilizarse en exteriores sin pinturas o cubrimientos.
<b>Nital</b>	Es una solución de alcohol y ácido nítrico, utilizado para la rutina de grabado de metales. Es especialmente adecuado para revelar la micro estructura de los aceros al carbono. El alcohol puede ser el metanol, etanol o alcohol de quemar.
<b>Palpador</b>	Es un dispositivo de contacto que forma parte de un detector o de un instrumento de medición.

<b>Perlita</b>	Se denomina perlita a la microestructura formada por capas o láminas alternas de las dos fases ( $\alpha$ y cementita) durante el enfriamiento lento de un acero a temperatura eutectoide.
<b>Poliformismo</b>	Es la presencia de dos o más variantes heredables para una misma característica que coexisten dentro de una población.
<b>Prueba Jominy</b>	Prueba utilizada para evaluar la templabilidad. Una barra de acero austenitizada se templea en un extremo con un chorro de agua, produciendo un intervalo de velocidades de enfriamiento a lo largo de la barra.
<b>Templabilidad</b>	Facilidad con la que un acero puede ser templado para formar martensita. Los aceros con alta templabilidad forman martensita aún con enfriamientos lentos.
<b>SEM</b>	<i>Scanning Electron Microscope</i> (Microscopio Electrónico de Barrido).



## RESUMEN

Un centro de investigaciones para el área de ingeniería mecánica, es una necesidad para incrementar la calidad en la formación de los estudiantes, debido a un vacío que deja en el área de materiales, en el cual no se cuenta con el equipo necesario para aplicar la teoría que se aprende en clases.

Dentro de las áreas que se describen, se encuentran que los materiales pueden ser tratados de diferentes puntos de evaluación y sus propiedades son un conjunto de características que ofrecerán un material adecuado al proceso para el cual se quiera utilizar. La importancia de tratamientos térmicos nos muestra que las propiedades de los materiales se pueden encaminar a las necesidades industriales que se tengan.

Los tratamientos térmicos modifican algunas propiedades de los materiales, como ductilidad, fragilidad, dureza, etc. Así también los tratamientos criogénicos que son tratamientos térmicos a bajas temperaturas.

En las investigaciones de materiales, no se trata solo de mejoras que pueden realizarse en los materiales por medio de tratamientos o estudios, también de motivos por los cuales han fallados en un proceso y los métodos de construcción de las piezas que por lo general se llevan a cabo por medio de la fundición.

La espectrometría y metalografía son dos áreas de mucha importancia, pudiendo determinar cómo se encuentran los átomos en una estructura cristalina, las características de la arena para moldes de fundición.

Los ensayos no destructivos colaboran en la reducción de costos de mantenimiento, no teniendo que destruir la pieza para conocer las fallas que cuenta.

## **OBJETIVOS**

### **➤ General**

Crear un centro de investigaciones de Ingeniería Mecánica de la Universidad de San Carlos, para cubrir la necesidad tecnológica de pruebas y ensayos mecánicos a los diferentes materiales utilizados en el medio.

### **➤ Específicos**

1. Instalación de laboratorios en los cuales se preste servicio a las empresas guatemaltecas.
2. Apoyar el crecimiento académico de la Escuela de Ingeniería Mecánica por medio de la oferta de nuevos laboratorios.
3. Vincular a los estudiantes en el tema de investigación en pruebas a materiales utilizables en la mecánica.
4. Crear una relación Universidad-Empresa para tener un acercamiento y mayores oportunidades para los egresados universitarios.
5. Obtener cotizaciones para encontrar las mejores ofertas del mercado que permitan adquirir equipo de buena calidad a un buen precio.



## **INTRODUCCIÓN**

En vista de las necesidades en la industria guatemalteca en relación con equipos utilizados para diferentes pruebas que se realizan a los materiales, la escuela de Ingeniería Mecánica tiene proyectado la creación de un Centro de Investigaciones en el cual se pueda brindar un servicio especializado con la finalidad de apoyar al desarrollo de la industria y la mejora de la calidad en la educación de los estudiantes, el cual abarcara seis diferentes áreas las cuales son: Tratamientos Térmicos, Espectrometría, Fundición de Metales, Ensayos no Destructivos, Tratamiento con la Cámara Criogénica y Metalografía.

Para las cuales se pretende que el centro de investigaciones sea un proyecto autosostenible por medio de pruebas que se realizarán a las empresas con un costo que permita funcionar y mantener en buen estado el equipo para que estudiantes de la carrera de ingeniería mecánica obtengan un conocimiento más de temas que se estudian durante la carrera y fortalezca su formación por medio de la práctica que podrán realizar dentro de estos laboratorios.



# **1. GENERALIDADES**

## **1.1 Misión**

Ofrecer el mejor servicio en las áreas de Tratamientos Térmicos, Espectrometría, Ensayos no Destructivos, Fundición de Metales, Metalografía y Tratamientos bajo cero con el uso de la cámara criogénica. Para estudios de materiales, piezas, maquinas y equipos para la industria Guatemalteca, involucrando estudiantes y profesionales en mejora de la calidad académica de la Universidad de San Carlos en la Escuela de Ingeniería Mecánica.

## **1.2 Visión**

En el año 2017 tener el centro de investigaciones con mayor prestigio siendo líderes dentro del sector industrial en el servicio de ensayos e inspecciones en materiales, pieza, maquinas y equipos contando con la mejor tecnología para realizar un servicio especializado, brindando confiabilidad a nuestros clientes.

## **1.3 Filosofía**

La tecnología y la investigación es la unión para la superación y desarrollo de la calidad académica de la educación superior y el apoyo para la industria guatemalteca en el área de materiales.

#### 1.4 Eslogan

Ingeniería Mecánica investigación y desarrollo industrial...

#### 1.5 Logotipo

**Figura 1:** Centro de Investigaciones Ingeniería Mecánica



**Diseñador:** Rene Almengor

## **2. TRATAMIENTOS TÉRMICOS**

### **2.1 Tipos de tratamientos térmicos**

El tratamiento térmico es la operación de calentamiento y enfriamiento de un metal en su estado sólido para cambiar sus propiedades físicas. Con el tratamiento térmico adecuado se pueden reducir los esfuerzos internos, el tamaño del grano, incrementar la tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil.

Entre los diferentes tipos de tratamientos térmicos se pueden mencionar, los de mayor utilización en la industria como Temple Convencional y Revenido, Recocido, Cementación y Normalizado.

#### **2.1.1 Temple convencional y revenido**

El temple es un proceso de calentamiento de una pieza de acero a una temperatura dentro o arriba de su zona crítica, procedimiento luego a un enfriamiento rápido. Si se conoce el contenido de carbono del acero, se puede obtener la temperatura adecuada a la cual el acero debe calentarse.

Sin embargo, si la composición del acero se desconoce, puede ser necesaria una experimentación preliminar para determinar el rango.

Un buen procedimiento es calentar y enfriar un número pequeño de muestras del acero, a diferentes temperaturas y observar los resultados, ya sea, probando la dureza o por examen al microscopio. Cuando se obtiene la temperatura correcta, habrá un cambio marcado en la dureza y en otras propiedades.

En cualquier operación de tratamiento térmico, es importante la velocidad de calentamiento. El calor fluye del exterior hacia el interior del acero a una velocidad determinada. Si el acero se calienta demasiado rápido, el exterior se vuelve tan caliente como el interior y no se puede obtener una estructura uniforme.

Si una pieza es irregular en su forma, lo más esencial es una velocidad lenta para eliminar alabeo o agrietamiento. Mientras mayor es la sección, mayor deberá ser el tiempo de calentamiento para lograr resultados uniformes. Aun después que se ha alcanzado la temperatura correcta, la pieza deberá mantenerse a esa temperatura por un periodo de tiempo suficiente para permitir que su sección más gruesa obtenga una temperatura uniforme.

El acero con bajo contenido de carbono no reacciona apreciablemente a los tratamientos de endurecimiento. Según el contenido de carbono en el acero aumenta hasta alrededor de 0.60%, la dureza que es posible alcanzar también aumenta. Arriba de este punto, la dureza puede incrementarse sólo ligeramente, debido a que los aceros arriba del punto eutectoide están compuestos enteramente de perlita y cementita en la condición de recocido. La perlita reacciona mejor a las operaciones de tratamiento térmico; cualquier acero compuesto por perlita principalmente puede transformarse en un acero duro.

La templabilidad se refiere a la reacción de un metal al temple y se puede medir por la prueba Jominy. Se maquina una probeta normalizada del acero por probar, a un diámetro de 25 mm y una longitud de 100 mm, calentándola luego a su temperatura de austenitización.

Se coloca entonces en el dispositivo de apoyo para el temple donde se mantiene a 12.7 mm arriba de un orificio de 12.7 mm de diámetro. Se dirige un chorro de agua contra la superficie del fondo hasta que toda la probeta se enfríe.

El acero que se ha endurecido por el temple rápido es frágil y no es adecuado para muchos usos. Mediante el revenido, la dureza y la fragilidad pueden reducirse hasta un punto deseado para condiciones de servicio. Según se reducen estas propiedades hay también una reducción a la resistencia a la tensión y un aumento en la ductilidad y en la tenacidad del acero. La operación consiste en un recalentamiento del acero endurecido por temple a una temperatura debajo de la zona crítica, seguido de un enfriamiento a cualquier velocidad.

### **2.1.2 Recocido**

El propósito principal del recocido es suavizar el acero duro de tal forma que se pueda maquinar o trabajar en frío. Esto se lleva a cabo de ordinario, calentando el acero a una temperatura ligeramente arriba de la crítica, manteniéndola así hasta que la temperatura de la pieza sea completamente uniforme, enfriándose después a una velocidad lenta y controlada de tal forma, que las temperaturas de la superficie y el núcleo de la pieza sean aproximadamente las mismas.

Este proceso se conoce como recocido completo debido a que borra toda traza de la estructura previa, refina la estructura cristalina y suaviza el metal. El recocido también libera los esfuerzos internos previamente desarrollados en el metal.

Cuando el acero templado se recalienta arriba de la zona crítica los componentes vuelven a transformarse en austenita y un enfriamiento lento proporciona entonces tiempo suficiente para completar la transformación de la austenita en los componentes más suaves. Para los aceros Hipoeutectoides, estos componentes son perlita y ferrita, puede notarse refiriéndose al diagrama de equilibrio, que la temperatura de recocido para aceros hipoeutectoides es más baja.

La temperatura a la cual un acero debe calentarse en el recocido depende de su composición, y para aceros al carbono puede obtenerse fácilmente del diagrama parcial hierro-hierro-carbono.

### **2.1.3 Cementación**

En la cementación se lleva a cabo una saturación superficial del acero con carbono, a consecuencia de la cual se obtiene una capa superficial de alto contenido de carbono. Como para cementar se utiliza un acero pobre en carbono, el núcleo permanece blando y tenaz, aunque después de cementado se temple el acero.

Hay dos tipos de cementación: sólida y gaseosa.

En este caso solamente explicaremos la cementación sólida, ya que este tipo de cementación es la más utilizada y sencilla de realizar. En la cementación sólida las piezas se entierran en una caja llena de carburante o cementante. Este es carbón vegetal con algunos aditivos. En la caja, en los intervalos entre los trozos de carbón, hay aire, cuyo oxígeno a la temperatura del proceso (900 – 950 °C) se combina con el carbono formando monóxido de carbono (CO) y se logra el enriquecimiento en carbono de la superficie, que es lo conocido como cementación de los aceros.

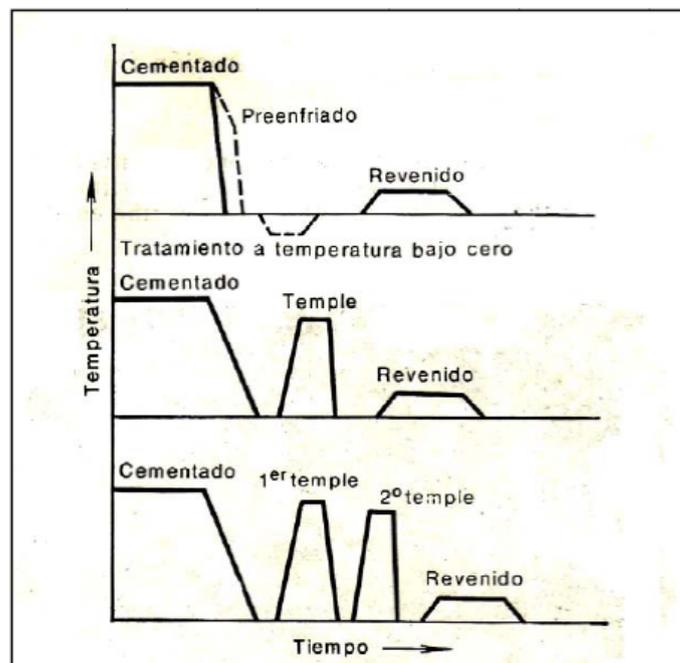
El proceso de cementación sólida es una operación larga y que, según sea la profundidad de cementación que sea necesaria, suele requerir muchas horas. Incluso para que se forme una capa de poca profundidad, por ejemplo, de 1 mm, la cementación debe durar varias horas. Esta duración tan larga del proceso se debe principalmente a la pequeña velocidad con que se calienta la caja, por estar llena de cementante mal conductor de calor.

Se recomienda cementar de tal modo, que el contenido de carbono en la capa exterior no excede del 1.1 – 1.2%. Si el contenido de carbono es mayor se forman cantidades considerables de cementita ( $Fe_3C$ ) secundaria que da a la capa una fragilidad elevada.

Para resolver el problema de la cementación, es decir, para obtener una dureza superficial elevada y gran resistencia al desgaste, siendo tenaz el núcleo de la pieza, no basta dicho tratamiento. Las propiedades de la pieza cementada se ponen de manifiesto definitivamente después del temple, con el cual se obtiene en la superficie martensita rica en carbono, y en el núcleo se conserva la baja dureza y la alta tenacidad.

En todos los casos las piezas cementadas, después del temple, se someten a revenidos a bajas temperaturas (150 – 200 ° C), para eliminar las tensiones internas. Como resultado de este tratamiento (Temple + Revenido a baja temperatura) la superficie deberá tener la dureza HRC 58 – 62 y el núcleo una mucho menor del orden de HRC 25 – 35 en los aceros aleados y aun más bajas en los aceros al carbono.

**Figura 2:** Régimen de tratamiento térmico de piezas cementadas

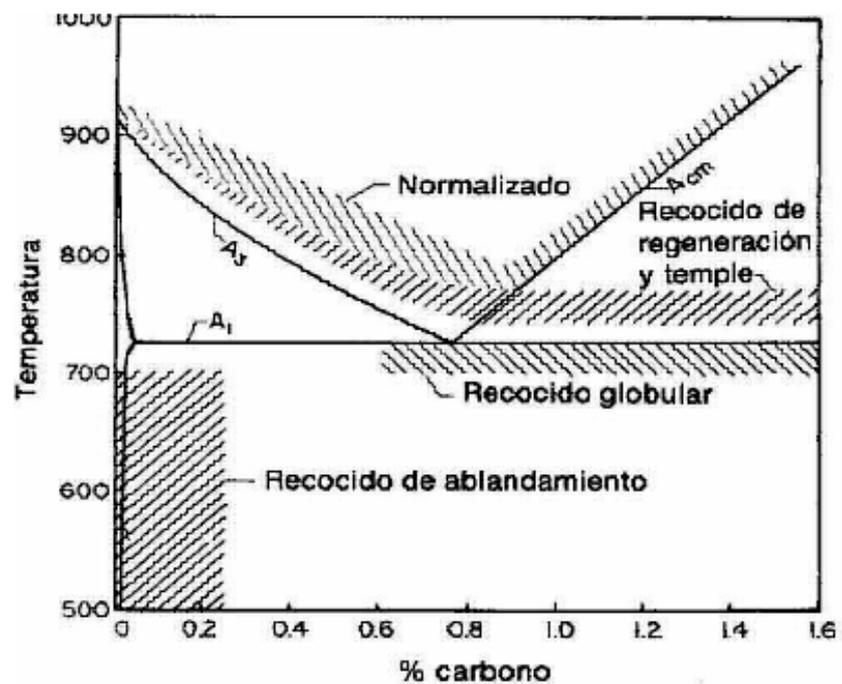


**Fuente:** A.P. Gulieav, Metalografía, volumen 1. Pág. 325.

### 2.1.4 Normalizado

El proceso de normalización consiste en calentar el acero de 10 a 40 °C arriba de la zona crítica superior y enfriar en aire suave a la temperatura ambiente. Este proceso se usa parcialmente en aceros de bajo y medio carbono, así como aceros aleados para lograr una estructura granular más uniforme; para liberar los esfuerzos internos o lograr los resultados deseados, respecto a las propiedades físicas. La mayoría de los aceros comerciales están normalizados después de laminados y fundidos.

**Figura 3:** Proceso de normalizado del acero



Fuente: Raymond Higgins. Ingeniería metalúrgica, tomo 1. Pág. 210.

## 2.2 Hornos para tratamientos térmicos

La realización de un tratamiento térmico debemos conseguir elevar la temperatura de los materiales. Ello se consigue en hornos especiales que deben controlar perfectamente los tiempos de calentamiento y las temperaturas a conseguir.

Como ejemplo podemos considerar el **acero 1018** para maquinaria. En las tablas adjuntas se recoge su composición química y las temperaturas a las cuales se deben realizar los diferentes tratamientos.

- **Tipo:** acero de bajo contenido de carbón.
  
- **Formas y Acabados:** barra redonda, cuadrada, hexagonal y solera, laminadas o forjadas en caliente, estiradas en frío y peladas o maquinadas.
  
- **Características:** entre los aceros de bajo carbono, el 1018 es el más versátil por sus características; análisis controlado, mejores propiedades mecánicas que otros aceros del mismo tipo por su alto contenido de manganeso, buena soldabilidad, buena maquinabilidad. Cuando se requiere una superficie muy dura pero un centro tenaz, este acero cementado cumple perfectamente. Estirado en frío mejora sus valores de resistencia mecánica y su maquinabilidad, haciéndose muy popular para un sin número de aplicaciones.

- **Aplicaciones:** se utiliza en la fabricación de partes para maquinaria; automotriz, línea blanca, equipo de proceso, etc.; que no estén sujetas a grandes esfuerzos. Por su ductilidad es ideal para procesos de transformación en frío como doblar, estampar, recalcar, etc. Sus usos típicos son flechas, tornillos, pernos, sujetadores, etc., ya cementado en engranes, piñones, etc.

**Tabla I:** Tratamientos térmicos Acero 1018

Tratamiento	Temperatura (°C)
<b>Forja</b>	1100-1250
<b>Normalizado</b>	870-900
<b>Recocido</b>	
✓ <b>Ablandamiento</b>	650-70 enfriar al aire
✓ <b>Regeneración</b>	850-890 enfriar en horno
<b>Templado</b>	925 Cementar
<b>Revenido</b>	150-250

Fuente: <http://www.acerospalmexico.com.mx/1018.htm>

**Tabla II:** Propiedades mecánicas mínimas estimadas según SAE J1397

TIPO DE PROCESO Y ACABADO								
Caliente y maquinado				Estirado en frío				Propiedades mecánicas
<b>400</b>	<b>41</b>	<b>58</b>	<b>MPa</b>	440	45	64	MPa	Resistencia a la tracción
<b>220</b>	<b>22</b>	<b>32</b>	<b>MPa</b>	370	38	54	MPa	Límite de fluencia
	<b>25</b>					15		Alargamiento de área en 2" %
	<b>50</b>					40		Reducción de área %
	<b>116</b>					126		Dureza Brinell
	<b>70</b>					70		Relación de Maquinabilidad 1212 EF=100%

Fuente: <http://www.acerospalmexico.com.mx/1018.htm>

**Tabla III: ACERO 1018**

Composición Química				
C	Si	Mn	P máx..	S máx..
0.15-0.20	0.15-0.35	0.60-0.90	0.040	0.050

Fuente: <http://www.acerospalmexico.com.mx/1018.htm>

**NOTAS:**

- Las propiedades arriba listadas, corresponden a barras de 20 mm a 30mm de sección, probadas conforme a las prácticas estándar con probeta de 50 mm según norma nacional (Mexicana) NMX B - 172.

- En barras más delgadas de 20 mm, deben esperarse valores ligeramente mayores en los datos de resistencia.

- En barras con diámetros mayores de 30 mm, existe un efecto de masa que tiene una influencia directa sobre las propiedades mecánicas resultando en una disminución ligera de las mismas.

Se puede observar que las temperaturas a las cuales deben trabajar los hornos deben superar los 1100 °C, en el caso de que el material deba ser tratado para su posterior forjado.

Los fabricantes de hornos utilizan diferentes sistemas de calentamiento, como quemadores a gas o resistencias eléctricas. Los sistemas de enfriamiento de las piezas pueden ser por convección natural o convección forzada.

### **2.2.1 Horno de Mufla para el trabajo de piezas pequeñas**

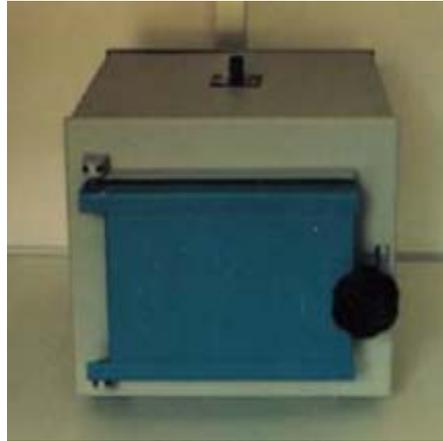
El horno es de construcción metálica, electro soldado, a partir de chapas y perfiles de acero laminado en frío, con un tratamiento especial anticorrosivo, de gran robustez, con avanzado diseño y protección con imprimación fosfocromatante y pintura epoxídica de agradables tonos, lo que le confiere una larga vida y un acabado estéticamente agradecido.

El aislamiento se realiza mediante fibras minerales y cerámicas de baja masa térmica y gran poder calorífico, cuidadosamente dispuestas en estratos para reducir las pérdidas de calor. La puerta es de apertura lateral, con cierre por aldaba, y perfecto ajuste sobre un marco de refractario. En el interior del horno una solera de refractario facilita la colocación de las piezas a tratar y su manejo a altas temperaturas.

Se ha previsto la introducción de atmósfera controlada en el horno con chimenea para la evacuación de gases y antorcha de quemado.

Las resistencias eléctricas están colocadas en los laterales y techo del horno e incorporadas a una masa de hormigón refractario que las protege de la agresión de los posibles gases desprendidos por la carga y las resguarda de golpes y rozaduras durante la carga y descarga. Son de hilo resistor de aleación Cr-Al-Fe y preparadas para ser conectadas a la red de 230/400 V 2 o 3 fases. Los calefactores están ampliamente sobredimensionados para una larga vida.

**Figura 4: Horno de mufla**



Fuente: <http://www.emison.com/hornos%20de%20mufla.htm>

**Tabla IV: Clasificación de los hornos de mufla**

<b>CARACTERÍSTICAS SERIES TM y TL</b>					
<b>MODELO</b>	<b>DIMENSIONES INTERIORES</b>	<b>CAPACIDAD Litros</b>	<b>POTENCIA TM / TL Watios</b>	<b>PRECIO TM</b>	<b>PRECIO TL</b>
TM - 12	14 x 14 x 29	6	2.420	1.754	
TM - 20	19 x 14 x 26	7	2.420	1.943	
TM - 22	20 x 14 x 31	9	2.550	2.163	
TM/TL - 26	20 x 18 x 31	11	3.100 / 3.500	2.289	2.982
TM/TL - 27	25 x 15 x 41	15	3.600 / 4.000	2.583	3.360
TM/TL - 30	25 x 20 x 31	16	3.000 / 3.600	2.709	3.528
TM/TL - 40	30 x 25 x 36	27	5.000 / 6.000	3.182	4.158
TM/TL - 42	30 x 15 x 36	16	4.000 / 5.000	2.783	3.622
TM/TL - 43	30 x 15 x 51	22	5.000 / 6.000	2.877	3.749
TM/TL - 50	30 x 20 x 71	42	6.000 / 7.000	3.622	4.714
TM/TL - 55	30 x 30 x 51	46	6.000 / 7.000	3.644	4.746
TM/TL - 56	30 x 25 x 61	46	6.000 / 7.000	3.759	4.893
TM/TL - 57	40 x 20 x 61	49	6.000 / 7.000	4.148	5.397
TM/TL - 60	50 x 20 x 51	51	6.000 / 7.000	4.316	5.617
TM/TL - 70	35 x 35 x 51	62	8.000 / 9.000	4.442	5.019
TM/TL - 80	40 x 40 x 51	81	10.500 / 12.000	4.746	6.174
TM/TL -125	50 x 50 x 51	127	12.000 / 14.000	5.439	7.077

Fuente: <http://www.emison.com/hornos%20de%20mufla.htm>

### **2.2.2 Horno de cámara para piezas mayores**

También llamados hornos de caja que es una cámara rectangular horizontal con una o dos puertas de acero, a través de las cuales se cargan las piezas. Este tipo de hornos es muy común y es versátil. Simple en su construcción y uso y se encuentra disponible en diferentes tamaños. Una variante de este tipo es el horno de plataforma móvil. Las piezas que se van a tratar térmicamente por lo general largas o grandes, se cargan en una plataforma que luego se mueven sobre rieles al interior del horno.

Las resistencias eléctricas están colocadas en los laterales, solera, fondo y puerta del horno (según modelos), e incorporadas a una masa de hormigón refractario, que las protege de golpes y rozaduras durante la carga y descarga.

Los calefactores están ampliamente sobredimensionados para una larga vida. Son de hilo resistor de aleación Cr-Al-Fe y preparados para ser conectados a la red de 230/400 V 2 ó 3 fases. Son de fácil sustitución con conector frío en la parte posterior del horno, protegida por cárter. En el caso de fusión de una resistencia el cambio de la misma es muy sencillo, pudiéndose realizar en pocos minutos por personas no especializadas.

**Figura 5:** Horno de cámara



Fuente: <http://www.emison.com/263.htm>

**Tabla V:** Características de los hornos de cámara

<b>MODELO</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>POTENCIA Kilovatios</b>	<b>PRECIO Euros</b>
<b>CT - 150</b>	<b>50 x 60 x 50</b>	<b>20</b>	<b>5.720</b>
<b>CT - 250</b>	<b>60 x 64 x 65</b>	<b>25</b>	<b>7.220</b>
<b>CT - 350</b>	<b>70 x 70 x 72</b>	<b>30</b>	<b>8.170</b>
<b>CT - 500</b>	<b>78 x 80 x 80</b>	<b>35</b>	<b>10.071</b>
<b>CT - 750</b>	<b>90 x 91 x 92</b>	<b>45</b>	<b>12.520</b>
<b>CT - 1000</b>	<b>90 x 100 x 112</b>	<b>50</b>	<b>14.690</b>
<b>CT - 1500</b>	<b>100 x 115 x 135</b>	<b>70</b>	<b>18.400</b>
<b>CT - 2000</b>	<b>100 x 120 x 170</b>	<b>83</b>	<b>21.780</b>

Fuente: <http://www.emison.com/263.htm>

### **2.2.3 Hornos de campana**

Un horno de campana es un horno de caja redondo o rectangular sin fondo. Es bajado sobre piezas apiladas que se les va a dar tratamientos térmicos este tipo de hornos es adecuado para bobinas de alambre, varillas y metal en lámina.

**Figura 6:** Horno de campana



**Fuente:**[http://img.directindustry.es/images\\_di/photo-g/horno-de-campana-49702.jpg](http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/horno-de-campana-49702.jpg)

#### **2.2.4 Hornos de sales**

Debido a su elevada velocidad de calentamiento y un mejor control de uniformidad de temperatura, los baños de sal se utilizan comúnmente en varias operaciones del tratamiento térmico, particularmente para tiras y alambres no ferrosos. Las velocidades de calentamiento son elevadas, debido a la más alta conductividad térmica de las sales líquidas en comparación a la del aire o de los gases.

Dependiendo de la conductividad eléctrica de la sal, el calentamiento puede ser hecho de manera externa (para sales no conductoras) o mediante electrodos inmersos o sumergidos utilizando una corriente alterna de bajo voltaje. No se puede utilizar corriente directa, ya que sometería a la sal a electrolisis. Los baños de sal están disponibles para una amplia gama de temperaturas. Como medio de calentamiento se puede utilizar plomo.

Existen multitud de alternativas para el calentamiento de los crisoles que contienen las sales. Por las características de la serie de hornos que presentamos creemos que la mejor solución es el calentamiento eléctrico por resistencias, si bien opcionalmente puede construirse con calefacción a gas o gasóleos.

Las resistencias eléctricas están formadas por un aro de hormigón refractario con hilo resistor de aleación Cr-Al-Fe en su interior y preparadas para ser conectadas a la red de 220/380 V  $\Phi$ . Los calefactores están ampliamente sobredimensionados para una larga vida.

**Figura 7:** Horno de sales



**Fuente:** [http://www.emison.com/265\\_archivos/image002.jpg](http://www.emison.com/265_archivos/image002.jpg)

**Tabla VI:** Características de los hornos de sales

<b>Modelo</b>	<b>Dimensiones en mm</b>	<b>Crisol</b>	<b>Wattios</b>	<b>Litros</b>	<b>Precio Horno</b>	<b>Precio Crisol</b>
<b>SAL-10</b>	<b>570 x 530</b>	<b>230 x 250</b>	<b>4.000</b>	<b>10</b>	<b>2.880</b>	<b>450</b>
<b>SAL-30</b>	<b>650 x 680</b>	<b>310 x 400</b>	<b>7.500</b>	<b>30</b>	<b>4.130</b>	<b>500</b>
<b>SAL-50</b>	<b>690 x 780</b>	<b>360 x 490</b>	<b>10.000</b>	<b>50</b>	<b>4.950</b>	<b>630</b>
<b>SAL-65</b>	<b>730 x 880</b>	<b>380 x 570</b>	<b>13.000</b>	<b>65</b>	<b>5.660</b>	<b>750</b>
<b>SAL-80</b>	<b>770 x 880</b>	<b>430 x 570</b>	<b>15.000</b>	<b>80</b>	<b>6.275</b>	<b>820</b>
<b>SAL-100</b>	<b>830 x 880</b>	<b>470 x 580</b>	<b>17.000</b>	<b>100</b>	<b>7.650</b>	<b>990</b>

**Fuente:** <http://www.emison.com/265.htm>

### **2.2.5 Hornos de solera móvil**

Este tipo de horno está diseñado para aliviar el estrés, temple, recocido y la normalización de las grandes piezas apoyado en un coche que lleva las piezas en el horno. El sistema de control del horno y el equipo de calefacción están diseñados para mantener las rampas de temperatura durante el proceso de la manera más eficiente.

El calentamiento se realiza mediante un quemadores para gasóleo o mediante resistencias eléctricas (según modelo) colocados de forma que aseguran un rápido calentamiento y una gran uniformidad en las temperatura.

**Figura 8: Horno de solera móvil**



Fuente: [http://img.directindustry.es/images\\_di/photo-g/horno-con-solera-movil-365437.jpg](http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/horno-con-solera-movil-365437.jpg)

**Figura VII: Características de los hornos de solera móvil**

<b>HORNOS DE VAGONETA A COMBUSTIÓN</b>						
MODELO	DIMENSIONES INTERIORES			CONSUMO Kg/h	CAPACIDAD Litros	PRECIO EUROS
VG-500	80	70	90	2,7	500	7.220
VG-750	90	80	105	3,8	750	8.030
VG-1000	100	90	112	4,3	1.000	9.290
VG-1500	100	100	150	5,4	1.500	11.050
VG-2000	100	120	170	7	2.000	13.285
VG-2500	110	135	170	8	2.500	15.885
VG-3000	120	145	170	10	3.000	18.335

<b>HORNOS DE VAGONETA ELÉCTRICOS</b>						
MODELO	DIMENSIONES INTERIORES			POTENCIA Kw	CAPACIDAD Litros	PRECIO EUROS
V-500	80	70	90	25	500	9.450
V-750	90	80	105	35	750	10.595
V-1000	100	90	112	40	1.000	12.295
V-1500	100	100	150	55	1.500	14.975
V-2000	100	120	170	65	2.000	17.815
V-2500	110	135	170	75	2.500	21.315
V-3000	120	145	170	90	3.000	25.375

Dimensiones interiores en cm ancho x alto x fondo

Fuente: <http://www.emison.com/hornos%20de%20solera%20movil.htm>

## 2.3 Cotizaciones de los equipos



### **HORNOS DE INDUCCION**

**HORNOS Y EQUIPOS PARA FUNDICION**

**Roberto Hernández Moreno**

**ACUEDUCTO N° 34 COL. PANORAMICA ECATEPEC, EDO. DE MEX. C.P. 55038 TEL: 57-87-74-80**

E-mail: [homosdeinduccion@prodigy.net.mx](mailto:homosdeinduccion@prodigy.net.mx)

ECATEPEC EDO. DE MEX 26 DE ABRIL DE 2010.

**COTIZACION N° 406**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CD. UNIVERSITARIA ZONA 12  
CD. DE GUATEMALA,  
GUATEMALA  
Tel. (502) 4110-9311  
E-mail: [leduardo99@hotmail.com](mailto:leduardo99@hotmail.com)

AT'N: DR. LUIS EDUARDO BARRERA GUEVARA

ESTIMADO DR. BARRERA PRESENTAMOS LA SIGUIENTE COTIZACION REFERENTE A UN EQUIPO DE HORNO DE INDUCCION DE ESTADO SOLIDO CON CAPACIDAD DE 75 KW. 1200 HZ. 1,200 V. PARA FUNDIR TODO TIPO DE ACEROS.

LAS PARTES QUE LO INTEGRAN SON LAS SIGUIENTES:

- 1.-INTERRUPTOR PRINCIPAL (BREAKER) 150 AMP. 600 V.
- 2.-PUENTE RECTIFICADOR DE CORRIENTE DIRECTA, PROTEGIDO CON UN SISTEMA A.C.I. (INTERRUPTOR ELECTRONICO), CAPACITOR FILTRO Y REACTOR LIMITADOR.
- 3.-UN INVERTIDOR DE FRECUENCIA:ESTE ESTA COMPUESTO DE DIODOS CONTROLADOS DE SILICIO, CIRCUITO RC, SISTEMA DE PROTECCION CONTRA SOBREVOLTAJE. Y UN TRANSFORMADOR DE ALTA FRECUENCIA.
- 4.-CIRCUITO TANQUE SECUNDARIO:ENSAMBLADO CON BARRAS BUS,CAPACITORES PRIMARIOS Y CAPACITORES SECUNDARIOS.
- 5.-CONTROLES DE EQUIPO CON TARJETERIA ELECTRONICA LOGICA Y MEDIDORES DIGITALES DE OPERACIÓN DEL EQUIPO.
- 6.-UN JUEGO DE CABLES DE POTENCIA ENFRIADOS POR AGUA. ESTOS SE INSTALARAN DEL GABINETE DE POTENCIA HASTA EL HORNO.

- 7.-DOS HORNO TIPO CASCO DE ALUMINIO CON CAPACIDAD DE 60 KG. Y 150 KG. DE BASCULACION MANUAL.
- 8.- UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO, TIPO CERRADO DE 10 G.P.M.
- 9.-UNA MOTOBOMBA DE 5 HP. PARA SISTEMA INTERNO DE ENFRIAMIENTO
- 10.- DOS BOMBAS DE 5 HP PARA ENFRIAMIENTO DE SISTEMA EXTERNO.
- 11.- , UNA MOTOBOMBA DE GASOLINA DE 3 HP DE EMERGENCIA.
- 12.- UN TABLERO DE CONTROL ELECTRICO PARA BOMBAS Y TORRE DE ENFRIAMIENTO.

COSTO DEL PAQUETE: \$ 79,500.00 US DLS.  
EL COSTO INCLUYE:ASESORIA EN LA INSTALACION PLANOS DE SISTEMA ELECTRICO, ASI COMO CALIBRACIONES Y ARRANQUE DEL EQUIPO.ADEMAS DE CAPACITAR AL PERSONAL DE PRODUCCION Y MANTENIMIENTO SOBRE LA OPERACIÓN DEL EQUIPO.

REQUERIMIENTOS ADICIONALES PARA LA INSTALACION DEL EQUIPO: (ESTOS SERAN SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE)

- 1.- UN SUMINISTRO ELECTRICO DE 100 KVA. Y 460 VOLTS.
- 2.-LA TUBERIA, MANGUERA Y CONEXIONES NESESARIAS PARA LA TORRE Y BOMBAS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.

-TIEMPO DE ENTREGA DEL EQUIPO: 16 SEMANAS.

-FORMA DE PAGO: 60% DE ANTICIPO AL MOMENTO DE LA ORDEN DE COMPRA Y 40% AL EMBARCAR EL EQUIPO.

-UN AÑO DE GARANTIA TOTAL, EN BUEN FUNCIONAMIENTO Y CONTRA DEFECTOS EN MATERIALES Y MANO DE OBRA.

-LA TRANSPORTACION DEL EQUIPO ES POR CUENTA DEL CLIENTE A SI MISMO DE GASTOS DE TRANSPORTACION, HOSPEDAJE Y BIATICOS DE PERSONAL, PARA ASESORIA, ARRANQUE Y SERVICIOS POSTERIORES.

-VIGENCIA DE COTIZACION: 30 DIAS.

ATENTAMENTE:



ROBERTO HERNANDEZ M.



# **INDUCTOHEAT**

An Inductotherm Group Company

May 11, 2010

**Quotation #EP-17302**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
Ciudad Universitaria Zona 12, Guatemala Guatemala  
Guatemala, Guatemala  
Guatemala

**ATTENTION:** Mr. Luis Barrera

Tel: 011-52-502 41109311

E-mail: leduardo99@hotmail.com

**REFERENCE: INDUCTION HEATING SYSTEM FOR  
UNIVERSITYUSAGE**

Dear Sr. Barrera,

Thank you for contacting our Ing. Ruben Escobedo with your request for an induction heating system quotation for a unit to be used at your school. Since this unit is to be used for educational purposes, we conclude that a versatile, low-cost system would be the best solution for your application.

## **EXECUTIVE SUMMARY**

Radyne is offering an induction heating system consisting of 25kW power supply and FlexScan material handling system. Induction coil and part locating tooling are not included and are to be determined at a future date once part prints are received.

(1) – **FlexScan**

(1) – **25kW/35-100kHz Induction Power Source**

**System price: \$ 71,050.00 US Dollars**  
**Availability for Run off: 12 to 14 weeks**

***Installation supervision, commissioning, and training are charged at the service rates in effect at the time of service.***

## **2.4 Consumo de energía de los hornos**

La temperatura en los hornos continuos es prácticamente constante en cada zona a lo largo del tiempo y la temperatura de la carga varía a lo largo del tiempo, pero se mantiene relativamente constante en todo el horno en un instante dado.

Dentro de los hornos intermitentes deben distinguirse los procesos en que la temperatura de regulación del horno permanece prácticamente constante (hornos de tratamiento de normalizado, temple y revenido y hornos de recalentar para forja y estampación), de los procesos en que la temperatura del horno sigue un ciclo de calentamiento, mantenimiento y enfriamiento sin extraer la carga del interior del horno:

En los primeros, al introducir la carga baja evidentemente la temperatura del horno, se enfría el revestimiento cediendo su calor a la carga y la energía cedida por los elementos calefactores se utiliza en calentar nuevamente el revestimiento y la carga hasta la temperatura de regulación del horno, cuyo valor de consigna ha permanecido constante.

En los segundos, al introducir la carga el horno está a baja temperatura y se calienta simultáneamente la carga y el revestimiento, con todos los elementos del interior del horno.

Después de un periodo de empapado o mantenimiento a temperatura, se enfría la carga en el interior del horno, juntamente con el revestimiento. Es fundamental, por tanto, el calor almacenado por el revestimiento (durante el calentamiento y empapado) y cedido en el enfriamiento.

Debe aclararse que el concepto de temperatura del horno es bastante convencional. Los elementos calefactores (llamas) tendrán la mayor temperatura. La carga, incluso al final del periodo de empapado, estará a menor temperatura y, finalmente el revestimiento tendrá, probablemente, una temperatura superior a la de la carga e inferior a la de los elementos calefactores. Un termopar con su caña de protección señalará una temperatura intermedia entre las tres citadas que se denomina temperatura del horno.

## **2.5 Consumo de combustible de los hornos**

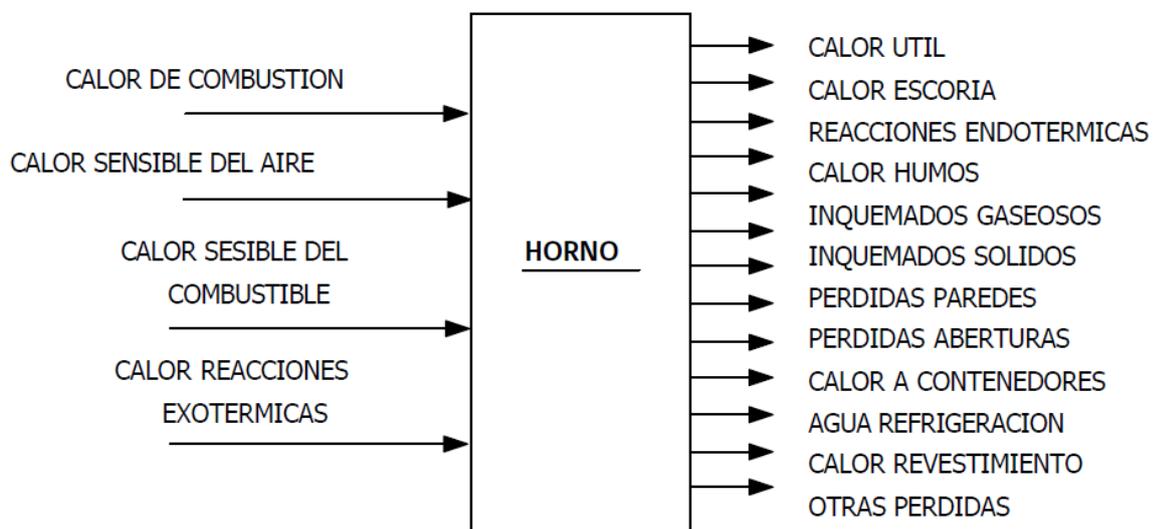
El consumo de combustible de un proceso en un horno industrial se determina calculando los componentes del balance energético, cuando se trata del diseño de un horno, o midiéndolos en su funcionamiento real, cuando se trata de un horno construido.

El balance energético se establece tomando como base la producción horaria en los hornos continuos, y el ciclo completo de una carga en los hornos intermitentes. Sin embargo, es frecuente que muchos hornos continuos funcionen únicamente durante 1 ó 2 turnos de trabajo al día, por lo que las pérdidas de calor, etc. durante las horas de parada del horno deben de tenerse también en cuenta.

En todo balance energético es fundamental que las condiciones al final del periodo en que se hacen las mediciones sean las mismas que al comienzo. Por ello, en los hornos intermitentes las mediciones cubren una carga completa o un ciclo completo y en los hornos continuos las condiciones de trabajo deben ser suficientemente constantes para que las pequeñas variaciones que se produzcan sean despreciables.

Entre los componentes de un balance energético se distinguen los que suponen aportación de calor al proceso y los receptores de ese calor:

**Figura 9:** Proceso de combustión de los hornos



**Fuente:** [www.energia.inf.cu/iee-mep/SyT/CDG/.../hornosind.PDF](http://www.energia.inf.cu/iee-mep/SyT/CDG/.../hornosind.PDF)

## 2.6 Ventajas del tratamiento térmico

Las propiedades mecánicas de las aleaciones de un mismo metal, y en particular de los aceros, residen en la composición química de la aleación que la forma y el tipo de tratamiento térmico a los que se les somete. Los tratamientos térmicos modifican la estructura cristalina que forman los aceros sin variar la composición química de los mismos.

Esta propiedad de tener diferentes estructuras de grano con la misma composición química se llama polimorfismo y es la que justifica los tratamientos térmicos. Técnicamente el polimorfismo es la capacidad de algunos materiales de presentar distintas estructuras cristalinas, con una única composición química, el diamante y el grafito son polimorfismos del carbono. La  $\alpha$ -ferrita, la austenita y la  $\delta$ -ferrita son polimorfismos del hierro. Esta propiedad en un elemento químico puro se denomina alotropía.

- **Alta resistencia:** la alta resistencia del acero por unidad de peso implica que será poco el peso de las estructuras, esto es de gran importancia en puentes de grandes claros.
- **Uniformidad:** las propiedades del acero no cambian apreciablemente con el tiempo como es el caso de las estructuras de concreto reforzado.
- **Durabilidad:** si el mantenimiento de las estructuras de acero es adecuado duraran indefinidamente.
- **Ductilidad:** la ductilidad es la propiedad que tiene un material de soportar grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión. La naturaleza dúctil de los aceros estructurales comunes les permite fluir localmente, evitando así fallas prematuras.

- **Tenacidad:** los aceros estructurales son tenaces, es decir, poseen resistencia y ductilidad. La propiedad de un material para absorber energía en grandes cantidades se denomina tenacidad.

## 2.7 Desventajas del tratamiento térmico

- **Costo de mantenimiento:** la mayor parte de los aceros son susceptibles a la corrosión al estar expuestos al agua y al aire y, por consiguiente, deben pintarse periódicamente.
- **Costo de la protección contra el fuego:** aunque algunos miembros estructurales son incombustibles, sus resistencias se reducen considerablemente durante los incendios.
- **Susceptibilidad al pandeo:** entre más largos y esbeltos sean los miembros a compresión, mayor es el peligro de pandeo. Como se indico previamente, el acero tiene una alta resistencia por unidad de peso, pero al utilizarse como columnas no resulta muy económico ya que debe usarse bastante material, solo para hacer más rígidas las columnas contra el posible pandeo.

## 2.8 Características generales de los metales

La materia prima para fabricar cualquier parte de máquina, o la máquina misma, tiene tal diversidad de propiedades y características que aún considerando el costo, casi siempre es difícil decidir sobre el material más idóneo para un trabajo determinado. Un material podrá tener mayor resistencia a los esfuerzos, otras mejores propiedades para resistir la corrosión, y todavía otro podrá ser más económico.

En consecuencia, la mayoría de las selecciones es un compromiso entre una gran cantidad de materiales, utilizando los mejores datos de ingeniería y el juicio disponible. Por ejemplo el cobre se puede alea en cientos de formas para producir muchos materiales con propiedades especiales.

En general los materiales se clasifican como:

- |                |                 |
|----------------|-----------------|
| A. Metálicos   | B. No Metálicos |
| 1. Ferrosos    | 1. Orgánicos    |
| 2. No Ferrosos | 2. Inorgánicos  |

En la tabla IV se muestra los principales metales usados en procesos de manufactura y tratamientos térmicos, así como algunas de sus propiedades físicas importantes. Los valores indican el rango aproximado de propiedades que pueden ser esperados dependiendo de la aleación y tratamiento térmico. Los metales comercialmente importantes incluyen estaño, plata, platino, manganeso, vanadio y titanio. Porque propiedades especiales se obtienen por aleación, de los metales puros que se usan especialmente. Los metales no ferrosos son por lo general inferiores en resistencia, pero superiores en resistencia a la corrosión comparada con los metales ferrosos, éstos son más costosos y sólo se usan cuando propiedades especiales los garantizan.

**Tabla VIII:** Características generales de los metales

Metal	MPa	Ductilidad (%)	°C	Dureza Brinell
<b>Ferrosos</b>				
Fundición de hierro gris	110-207	0-1	1370	100-150
Hierro Maleable	276-345	1-20	1360	100-145
Acero	276-2070	15-22	1425	110-500
Fundición Hierro Blanco	310	0-1	1370	450
Hierro forjado	242-324	30-35	1540	90-110
<b>No Ferrosos</b>				
Aluminio	83-310	10-35	660	30-100
Cobre	345-689	5-50	1080	50-100
Magnesio	83-345	9-15	650	30-60
Níquel	414-1103	15-40	1450	90-250
Plomo	18-23	25-40	325	32-4.5
Titanio	552-1034		1800	158-266
Fundición Zinc	48-90	2-10	785	80-100

\*Dependiendo de la aleación

Fuente: Kalpakjian schmid, Manufactura, ingeniería y tecnología, cuarta edición, pág.33

Los metales tienen una serie de características que los diferencian de los demás materiales, los no metales. Además de que todos, a excepción del mercurio, son sólidos, la más característica de las propiedades de los metales es su brillo especial, que curiosamente se llama brillo metálico. El brillo es la capacidad de un material para reflejar, absorber o reflejar la luz. Los metales, una vez pulidos, reflejan la mayor parte de la luz que les llega.

Otra característica que cumplen la casi totalidad de los metales es ser buenos conductores eléctricos y mostrar carga eléctrica positiva en los procesos de electrólisis.

La estructura electrónica de los átomos metálicos se caracteriza por la existencia de pocos electrones en su capa externa, por lo que se requiere escasa energía para que los pierdan y adopten la estructura estable en forma de cationes. Además, en una masa metálica, los electrones de valencia fluctúan de uno a otro átomo formando la denominada “nube electrónica”, de algún modo compartido por todos los átomos del metal. Así muchos son empleados para hacer cables, etc. Además también son buenos conductores del calor. Los metales son materiales, en general, bastante densos, insolubles en agua y en muchos disolventes, y opacos con un espesor adecuado.

En cuanto a las propiedades metálicas podemos decir que los metales presentan resistencia a la tracción, es decir, que pueden soportar grandes cargas, que se calcula poniendo el material en una cubeta imprimiéndole una fuerza que se aumenta progresivamente y dividiendo la carga máxima de fuerza que se la ha aplicado a la probeta por la sección transversal de la misma.

Los metales son poco duros, así una de las funciones más importantes de las aleaciones es mejorar esta propiedad. La dureza se delimita dejando caer contra una superficie pulida de un metal una bola de acero especial y muy duro (método Brinell) o un diamante piramidal (método Vickers). Una vez hecho esto podemos medir la dureza del metal de dos maneras: por la relación entre la carga en kilogramos y la huella dejada en el metal en milímetros cuadrados, estaremos hablando de dureza de retroceso, o bien teniendo en cuenta la altura que adquiere la bola en el rebote, cuanto más blando sea el material, menor altura alcanzará ya que la energía del impacto ha sido absorbida en casi su entera totalidad por la deformación del metal, y se llamará dureza a la penetración.

Los metales son muy dúctiles, es decir, que se pueden estirar en forma de hilos; y bastante maleables, podemos estirarlos en láminas sin romperlos. Una de las malas propiedades de los metales es su baja resistencia a la fatiga, o la situación en la que se encuentran algunos metales tras ser expuestos a ciclos de carga de una intensidad menor al crítico de rotura del material.

➤ **Práctica de Laboratorio**

**CINÉTICA RECRISTALIZACIÓN**  
**(Práctica No. 1)**

Profesor		Pre-Reporte	20%	
Auxiliar		Examen	20%	
Nombre		Reporte	40%	
Hora y día de clase		Conclusiones	20%	
Grupo de Lab.		<b>TOTAL</b>	100%	

**PRE-REPORTE**

- Contesta las siguientes preguntas (a mano), en base a la investigación sobre recuperación y recristalización del grano.
- Haz una breve investigación (mínimo 2 hojas) sobre la cinética de recristalización.
- Poner fuentes bibliográficas, al menos un libro (prohibido Wikipedia)

## **1. OBJETIVOS**

- El alumno identificará las diferentes fases de recristalización
- El alumno aprenderá a reconocer las diferentes etapas de la recristalización
- El alumno conocerá la aplicación de la recristalización

## **2. MATERIAL / EQUIPO**

- Muestras de diferentes materiales laminados
- Horno eléctrico
- Durómetro
- Microscopio

## **3. PROCEDIMIENTO**

- El Encargado de Laboratorio explicará la teoría de la recristalización.
- Los alumnos procederán a realizar la prueba recristalización con las probetas proporcionadas por el Encargado de Laboratorio.
- Los alumnos analizarán los resultados obtenidos y contestarán las preguntas contenidas en la sección de reporte.

#### 4. REPORTE

Resultados experimentales

- Temperatura =
- %Modulo Elástico =

Llene la siguiente tabla:

	Dureza	Tiempo	Microestructura
<b>Muestra sin tratamiento</b>			
<b>Muestra 1</b>			
<b>Muestra 2</b>			
<b>Muestra 3</b>			

**Realizar la gráfica de recristalización correspondiente a cada muestra**

**Preguntas:**

¿Cómo se mide la capacidad de recristalización?

¿En qué caso se notó mayor capacidad de recristalización?

¿Para qué se utiliza normalmente este método?

## 5. DESCRIPCIÓN:

Fotos	Descripción de uso

## 6. CONCLUSIONES:

### **RECOCIDO, NORMALIZADO Y TEMPLADO DE ACEROS** **AL CARBÓN 1018, 1045 Y 4140** **(Práctica No. 2)**

Profesor		Pre-Reporte	20%	
Auxiliar		Examen Rápido	20%	
Nombre		Reporte	40%	
Hora y día de clase		Conclusiones	20%	
Grupo de Lab.		<b>TOTAL</b>	100%	

## PREREPORTE

- Investigar las siguientes preguntas:
  - a. ¿Qué es un tratamiento térmico?
  - b. ¿Cuáles son las principales diferencias entre un Recocido, Normalizado y Templado?
  - c. ¿Qué es un diagrama CCT y un diagrama TTT?
  - d. ¿Qué es la velocidad de enfriamiento de un material?
- Incluir bibliografía

## **1. OBJETIVOS**

- Analizar el efecto de la velocidad de enfriamiento, contenido de carbón y elementos aleantes en la microestructura y propiedades mecánicas de aceros al carbón.
  
- Diseñar y efectuar tratamientos térmicos de recocido, normalizado y templado de aceros 1018, 1045 y 4140.

## **2. MATERIAL / EQUIPO**

- Horno de alta temperatura
- Microscopio óptico
- Muestras metalográficas de acero 1018, 1045 y 4140 en estado recocido, normalizado y templado
- Muestras de acero 1018, 1045 y 4140

## **3. PROCEDIMIENTO**

1. Coloque tres muestras de cada material (1018, 1045 y 4140) en el horno para su austenización a una temperatura de 908°C por 30 minutos.
2. Mida la dureza de cada una de las muestras recocidas en escala HRA o HRB (tres mediciones por muestra y promedio)
3. Saque rápidamente del horno una muestra de cada material y enfríela en agua, cuidando de no agitar la pieza dentro de la misma.

4. Vuelva a sacar rápidamente del horno una segunda muestra de cada material y témpela en aceite sin agitarla.
5. Saque la última muestra de cada material, pero ahora colóquelas sobre una superficie de material aislante y deje que se enfríen al aire quieto.
6. Mida la dureza de las muestras en escala HRC o HRA (Dureza ROCKWELL serie A, B y C).
7. Observe las microestructuras de las muestras de aceros recocidos, normalizados y templados.

#### 4. REPORTE

##### Resultados experimentales

1. Complete la siguiente tabla de durezas promedio

Material	1018	1045	4140
<b>Recocido</b>			
<b>Normalizado</b>			
<b>Templado en agua</b>			
<b>Templado en aceite</b>			

2. Complete la siguiente tabla, identificando las fases presentes.  
 Calcule la cantidad de ferrita y perlita para los casos que aplique.

Material	1018	1045	4140
Recocido ➤ <b>Microestructura</b> ➤ <b>Identificación de fases y cantidad de cada fase.</b>			
Normalizado ➤ <b>Microestructura</b> ➤ <b>Identificación de fases y cantidad de cada fase.</b>			
Templado en agua ➤ <b>Microestructura</b> ➤ <b>Identificación de fases y cantidad de cada fase.</b>			

3. Identifique cada una de las fotografías presentadas y escriba a qué corresponde cada una



## 5. CONCLUSIONES

**TRATAMIENTO TÉRMICO DE ENVEJECIDO  
EN PIEZAS DE AL-6061(ALUMINIO)  
(Práctica No. 3)**

Profesor		Pre-Reporte	20%	
Auxiliar		Examen	20%	
Nombre		Reporte	40%	
Hora y día de clase		Conclusiones	20%	
Grupo de Lab.		<b>TOTAL</b>	100%	

**PRE-REPORTE**

- a) ¿Cuál es el nombre correcto al fenómeno conocido como “endurecimiento por envejecimiento”?
- b) Mencione 3 ejemplos en donde ocurre éste fenómeno.

**1. OBJETIVOS**

- Diseñar y realizar un tratamiento térmico T6 que permita maximizar la dureza de una aleación de aluminio Al-6061.
- Establecer la relación entre microestructura, propiedades mecánicas y tratamiento térmico T6 en piezas de Al-6061.
- Conocer la forma de operar de los hornos de resistencia eléctrica del laboratorio y su utilidad en la realización de tratamientos térmicos.

## 2. MATERIAL / EQUIPO

- 4 muestras de la aleación Al-6061(aluminio)
- Durómetro
- Hornos de resistencia eléctrica
- Metalografías de la aleación Al-6061(Microscopio)

## 3. PROCEDIMIENTO

1. El instructor explicará la teoría general de la práctica.
2. Se medirá la dureza inicial de la aleación.
3. Se hará un tratamiento térmico de solución sólida a tres muestras de la aleación, a 585 °C por 30 minutos.
4. Posteriormente, cada muestra se enfriará de la siguiente forma:
5. Templado en agua.
  - a) Templado en agua y posteriormente envejecida a 400 °C por 20 min.
  - b) Templado en agua y posteriormente envejecida a 205 °C por 40 min.
6. Se enfriarán las muestras y se reportará la dureza alcanzada en cada una de las muestras.
7. Se analizarán metalografías de la aleación Al-6061.
8. Se hará el análisis de las curvas esfuerzo-deformación de 4 probetas de Al-6061.

**\*NOTA:** Para la medición de la dureza se sugiere tomar tres lecturas y obtener un promedio.

#### 4. RESULTADOS

1. Realice una tabla con el nombre de la muestra, la medición promedio de dureza y los comentarios del análisis microestructural, para cada muestra.
2. Explique la diferencia entre la dureza de cada pieza y su relación con la microestructura obtenida.

Fotos	Descripción del Proceso

#### 5. CONCLUSIONES



## 3. ESPECTROMETRÍA

### 3.1 Espectrometría

La espectrometría de masas es una técnica utilizada para establecer las masas moleculares y la estructura química de determinadas sustancias. La base de esta técnica reside en la formación de iones a partir de moléculas y su posterior análisis. Tras su descubrimiento y primeras aplicaciones en la década de 1920 para la separación de isotopos de elementos gaseosos cayó en desuso. Solo a partir de los años 60 empezó a ser considerada como una técnica con un elevado potencial analítico.

En la actualidad el término, espectrometría de masas engloba una gran cantidad de modalidades cuyo factor común es el hecho de que todas ellas se basan en la producción de iones y su posterior análisis. El espectro de masas de una sustancia es una representación X-Y en la que en abscisa se representa la relación masa/número de carga ( $m/z$ ) de los fragmentos iónicos producidos y en ordenadas su abundancia relación.

En general, la mayor parte de los iones producidos tiene número de carga unidad, lo que supone en la práctica la equivalencia del término  $m/z$  y la masa molecular del fragmento iónico. En idénticas condiciones experimentales, una sustancia producirá siempre los mismos fragmentos iónicos y con idéntica abundancia.

Ello equivale a decir que el espectrómetro de masas siempre es el mismo y por lo tanto, la identificación de un componente se facilita enormemente, sobre todo si se dispone de patrones o de un archivo de espectros de masa.

Los componentes esenciales de un espectrómetro de masas son los siguientes:

1. Un sistema de introducción de la muestra en estudio, distinto en función si esta es un sólido, un líquido o un gas.
2. Un sistema de producción de iones.
3. Un sistema de separación de iones formados.
4. Un sistema de detección y amplificación de los iones producidos.
5. Un sistema de tratamientos de los datos producidos.

Así mismo para su funcionamiento la mayoría de los espectrómetros de masas requiere sistemas de bombeo de alta capacidad con el fin de obtener un gran vacío, necesario para que los procesos mencionados (producción, detección y separación de iones) no se vean interferidos por la presencia del aire. Esta induce a una pérdida de números de carga y la desviación de la trayectoria, lo que se traduce en una pérdida de detección.

### 3.1.1 Tipos de espectrometría

- **ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN MOLECULAR ULTRAVIOLETA-VISIBLE:** procedimientos para aumentar la sensibilidad y/o la selectividad de los métodos espectrofotométricos: cambios de pH, enmascaramiento, extracción, organización de métodos organizados.
- **ESPECTROFOTOMETRÍA DIFERENCIAL:** técnicas diferenciales para aumentar la precisión. Aplicaciones de la espectrometría UV-V: valoraciones fotométricas; determinación de constantes de disociación de ácidos o bases débiles; determinación de la estequiometría y constantes de estabilidad de complejos; en métodos cinéticos de análisis. Espectroscopía de derivadas. Espectroscopía de doble longitud de onda. Espectroscopía fotoacústica.
- **ESPECTROMETRÍA DE FLUORESCENCIA ATÓMICA:** tipos de fluorescencia atómica. Instrumentación. Interferencias. Intensidad de fluorescencia atómica y concentración. Análisis químico por fluorescencia atómica: metodología y aplicaciones. Comparación entre fluorescencia atómica y otras técnicas de espectrometría atómica.
- **ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN EN EL INFRARROJO (IR):** teoría de la absorción en el infrarrojo. Instrumentos dispersivos, no dispersivos, de transformada de Fourier y de reflectancia interna. Metodología. Aplicaciones analíticas cualitativas y cuantitativas.

- **ESPECTROMETRÍA RAMAN:** teoría de la espectroscopía Raman. Mecanismos de la dispersión. Tipos de espectroscopía Raman. Instrumentación: espectrómetros Raman y espectrómetros Raman de transformada de Fourier. Metodología. Aplicaciones analíticas. Comparación entre IR y Raman.
  
- **ESPECTROMETRÍA DE RESONANCIA MAGNÉTICO NUCLEAR (RMN):** teoría de la resonancia magnético nuclear: principios básicos. RMN de transformada de Fourier (RMN de pulsos). RMN de líneas anchas. Tipos de espectros de RMN protónica. Espectrometría de RMN. Efecto del entorno molecular en los espectros de RMN: desplazamientos químicos y desdoblamiento de spin-spin. Aplicaciones analíticas de la RMN de protón. Resonancia magnética nuclear no protónica. Aplicaciones analíticas.
  
- **ESPECTROMETRÍA DE RESONANCIA DEL SPIN ELECTRÓNICO (RSE) O RESONANCIA PARAMAGNÉTICA ELECTRÓNICA (RPE):** resonancia del spin electrónico: fundamentos teóricos. Estructura fina y estructura hiperfina de absorción de RSE. Instrumentación. Técnicas de espectrometría de RSE. Metodología. Aplicaciones analíticas.

### 3.1.2 Métodos Espectrométricos

- **ESPECTROSCOPIA:** se usa para la determinación cualitativa y cuantitativa de unos 70 elementos. La sensibilidad típica de los elementos atómicos va de partes por millón a partes por billón ( $1:10^9$ ). Otras buenas características de estos métodos son rapidez, comodidad, notable selectividad y coste moderado de los instrumentos.

El estudio espectroscópico de átomos (o de iones elementales, tales como el hierro, magnesio o aluminio) con radiación ultravioleta o visible solo se puede hacer en fase gaseosa, que es donde los átomos y iones se encuentran bien separados entre sí. Por eso el primer paso en todos los procedimientos espectroscópicos atómicos es la atomización. Un proceso por el cual una muestra se volatiliza y descompone de forma que produce un gas atómico el rendimiento y la reproductibilidad del paso de atomización determina en gran medida la sensibilidad, presión y exactitud del método: es decir, la atomización es con mucho el paso más crítico en espectroscopia atómica.

### 3.2 Fundición de hierro (Análisis inicial del proceso)

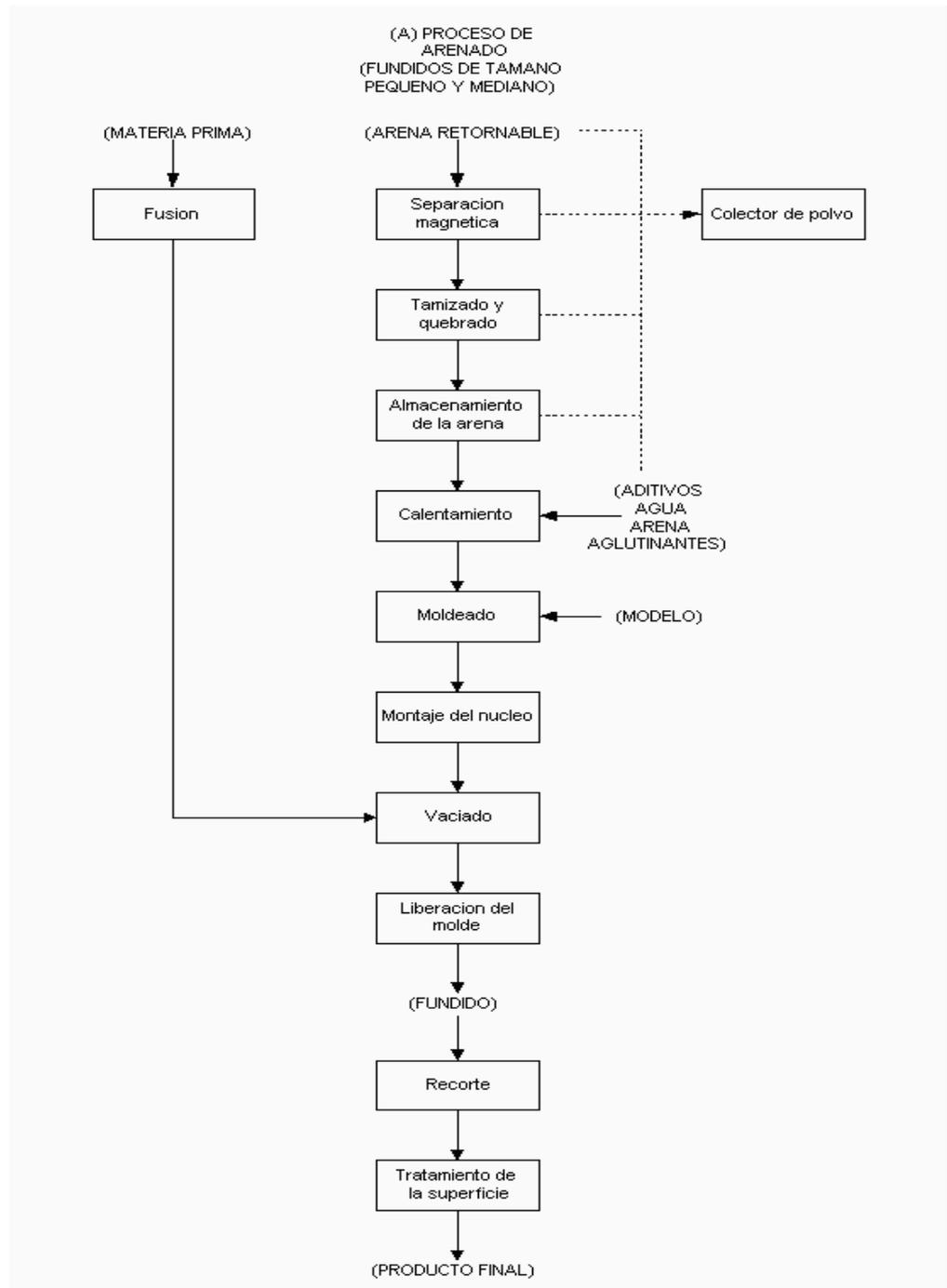
La fundición es el proceso de producción de un objeto metal por vaciado de un metal fundido dentro de un molde y que luego es enfriado y solidificado. Desde tiempos antiguos el hombre ha producido objetos de metal fundido para propósitos artísticos o prácticos.

Con el crecimiento de la sociedad industrial, la necesidad de fundición de metales ha sido muy importante. El metal fundido es un componente importante de la mayoría de maquinarias modernas, vehículos de transporte, utensilios de cocina, materiales de construcción, y objetos artísticos y de entretenimiento.

También está presente en otras aplicaciones industriales tales como herramientas de trabajo, maquinarias de manufactura, equipos de transporte, materiales eléctricos y electrónicas, objetos de aviación, etc. La mejor razón de su uso es que puede ser producida económicamente en cualquier forma y tamaño. El tipo más común de molde de fundición es hecho de arena y arcilla, en donde el diseño forma una cavidad en la cual se vaciará el material fundido. Los moldes deben ser fuertes, resistentes a la presión del metal derretido, y suficientemente permeable para permitir el escape de aire y otros gases desde la cavidad de los moldes. El material del molde también debe resistir la fusión con el metal.

La fundición es una de las profesiones más antiguas. La producción de diseños para ser usados en fundición requiere cuidado, precisión y técnica. El proceso de fundición tradicional ha sido reemplazado por una fundición mecanizada. Con la crisis energética en años recientes, la racionalización de líneas de producción automática y mecánica ha reducido el costo del producto y han elevado su calidad siendo un paso esencial en el desarrollo de la fundición. Las industrias de fundición en Taiwán han desarrollado, en efecto, desde equipos de mecanización simples hasta líneas de producción automáticas y continuas.

Figura 10: Diagrama del proceso de fundición de metales



Fuente: <http://turnkey.taiwantrade.com.tw/PROJECTS/IRON%20AND%20STEEL/132/planta1.gif>

### 3.2.1 Clasificación de las fundiciones

- **La Fundición Nodular:** posee el mismo contenido en carbono que la fundición gris; sin embargo, la adición de unas pocas centésimas por ciento de magnesio o cerio induce al carbono no combinado a formar partículas esferoidales durante la solidificación en vez de copos de grafito. En el hierro perlítico pueden conseguirse propiedades de resistencia comparables a las del acero (resistencia a la tracción de  $9100 \text{ kg/cm}^2$ , límite de fluencia  $6300 \text{ kg/cm}^2$  y carga de rotura de  $5600$  a  $7000 \text{ kg/cm}^2$  presentan una ductilidad considerable con un alargamiento del 10% o más. Cuando la dureza y la resistencia son elevadas mediante tratamiento térmico adecuado, o el espesor de la fundición disminuye por debajo de 6 mm aproximadamente, la ductilidad disminuye, puede conseguirse una forma austenítica de hierro nodular añadiendo cantidades diversas de silicio, níquel, manganeso y cromo. Para muchas finalidades, el hierro nodular presenta propiedades superiores tanto a las de la fundición gris como de la maleable.
- **La fundición en Coquilla:** se fabrica introduciendo el hierro fundido en un molde metálico, que enfría rápidamente la capa de contacto de la fundición, con lo que se forma una superficie resistente al desgaste, de material más duro que el resto de la masa metálica. El enfriamiento rápido reduce la proporción de grafito y eleva la de carbono combinado, dando lugar a la formación de fundición blanca.

- **Las Fundiciones Aleadas:** contienen elementos especialmente adicionados en cantidad suficiente como para producir una modificación sensible en las propiedades físicas. El silicio, manganeso, azufre y fósforo, en las cantidades que se producen normalmente de las materias primas, no se consideran adiciones de aleación. Hasta un 4% de silicio aproximadamente, eleva la resistencia del hierro puro; cantidades superiores dan lugar a una inclusión de silicio disuelto que es débil, duro y quebradizo. La fundición con un 7 a 8 % de silicio se utiliza en aplicaciones que exijan resistencia al calor y con un 13 a 17 % de silicio da lugar a aleaciones resistentes a los ácidos y a la corrosión que, no obstante, son muy quebradizas. El manganeso, hasta un 1%, ejerce poca influencia sobre las propiedades mecánicas, pero tiende a atenuar los efectos perjudiciales del azufre. Como elementos aleantes, ordinariamente se utilizan níquel, cromo, molibdeno, vanadio, cobre y titanio. Los métodos del proceso y de realizar la adición de los elementos aleantes al hierro afectan a las propiedades finales del metal; por consiguiente, un análisis químico determinado no es suficiente para obtener las cualidades requeridas. El tratamiento térmico también se utiliza en las aleaciones de hierro a fin de mejorar las propiedades físicas.
  
- **Fundiciones de Gran Resistencia:** esta denominación se emplea a veces para designar fundiciones cuya resistencia a la tracción es superior a  $2450 \text{ kg/cm}^2$  aproximadamente. Los rápidos progresos en la fabricación de fundiciones han permitido que hayan llegado a conseguirse fundiciones con resistencias a la tracción de 4200, sin tratamiento.

La composición porcentual de una fundición de cubilote que posee una resistencia a la tracción de  $420 \text{ kg/cm}^2$  es: carbono total 2.60; Si, 2.15; S, 0.08; P, 0.08; Mn, 0.70; Ni, 1.10. en las fundiciones que presentan resistencias superiores a  $3500 \text{ kg/cm}^2$ , ordinariamente el carbono total se mantiene por debajo del 3% y, por lo general, se adicionan elementos como níquel, cromo y molibdeno. Para aumentar la resistencia y para ayudar a mejorar la deficiente facilidad de mecanizado de las fundiciones de resistencia superior. Se presentan dificultades en las fundiciones para conseguir hierros de resistencia mayor y, en general, con estas resistencias sólo se producen fundiciones delgadas, relativamente exacto. Para clasificaciones detalladas de la fundición gris basándose en resistencias a la tracción que oscile entre  $1400$  y  $4200 \text{ kg/cm}^2$ .

### 3.2.2 Propiedades de los materiales fundentes

- **Propiedades físicas de los metales:** los metales suelen ser duros y resistentes. Aunque existen ciertas variaciones de uno a otro, en general los metales tienen las siguientes propiedades: dureza o resistencia a ser rayados; resistencia longitudinal o resistencia a la rotura; elasticidad o capacidad de volver a su forma original después de sufrir deformación; maleabilidad o posibilidad de cambiar de forma por la acción del martillo; resistencia a la fatiga o capacidad de soportar una fuerza o presión continuadas y ductilidad o posibilidad de deformarse sin sufrir roturas.

➤ **Propiedades químicas de los metales:** es característico de los metales tener valencias positivas en la mayoría de sus compuestos. Esto significa que tienden a ceder electrones a los átomos con los que se enlazan. También tienden a formar óxidos básicos. Por el contrario, elementos no metálicos como el nitrógeno, azufre y cloro tienen valencias negativas en la mayoría de sus compuestos, y tienden a adquirir electrones y a formar óxidos ácidos. Los metales tienen energía de ionización baja: reaccionan con facilidad perdiendo electrones para formar iones positivos o cationes. De este modo, los metales forman sales como cloruros, sulfuros y carbonatos, actuando como agentes reductores (donantes de electrones).

**Tabla IX:** Designación, propiedades mecánicas mínimas, composiciones aproximadas y aplicaciones típicas de varias fundiciones grises, dúctiles y maleables.

Grado	Número UNS	Composición (% en peso) <sup>a</sup>			Estructura de la matriz	Propiedades mecánicas			Aplicaciones más corrientes
		C	Si	Otros		Resistencia a la tracción [psi × 10 <sup>3</sup> (MPa)]	Límite elástico [psi × 10 <sup>3</sup> (MPa)]	Ductilidad (% EL en 2 pulg.)	
<b>Fundición gris</b>									
SAE G2500	F10005	3,3	2,2	0,7Mn	Perlita + ferrita	25(173)	—	—	Bloque de motores, tambores de freno Cilindros y pistones de motores
SAE G4000	F10008	3,2	2,0	0,8Mn	Perlita + ferrita	40(276)	—	—	
<b>Fundición dúctil (esferoidal)</b>									
ASTM A536 60-40-18	F32800	3,5-3,8	2,0-2,8	0,05Mg <0,20Ni <0,10Mo	Ferrita	60(144)	40(276)	18	Válvulas y cuerpos de bombas Engranajes de alta resistencia Engranajes y rodillos
100-70-03	F34800				Perlita	100(690)	70(483)	3	
120-90-02	F36200				Martensita templada	120(828)	90(621)	2	
<b>Fundición maleable</b>									
32510	F22200	2,3-2,7	1,0-1,75	<0,55Mn	Ferrita	50(345)	32(224)	10	Aplicaciones generales de ingeniería a temperaturas ambiente y elevadas
45006		2,4-2,7	1,25-1,55	<0,55Mn	Ferrita + perlita	65(448)	45(310)	6	

**Fuente:** William D. Callister, Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales, Volumen 1, pág. 379

### **3.2.3 Ventajas e Inconvenientes de las fundiciones**

1. Son más baratas que los aceros e incluso su fabricación es también más sencilla (con instalaciones menos costosas y temperaturas de fusión más bajas).
2. Las fundiciones grises pueden resultar más fáciles de mecanizar que los aceros pero no las blancas.
3. Se pueden fabricar tanto piezas de grandes dimensiones como de pequeñas y complicadas.
4. Para muchos elementos de máquinas y motores son suficientes las características mecánicas de las fundiciones: Buena resistencia a tracción, a desgaste, a compresión y absorben bien las vibraciones.
5. Su fabricación exige menos precauciones que la del acero.
6. Como presentan temperaturas de fusión más bajas que los aceros pueden conseguirse fundiciones en estado líquido con gran fluidez y se facilita la fabricación de piezas de poco espesor, ya que presentan menos contracción que los aceros y además su fabricación no requiere el empleo de refractarios especiales.

### 3.3 Aceros al carbono y baja aleación

Los aceros más sencillos son aleaciones binarias de hierro y carbono y se denominan Aceros al Carbono, si, además de estos dos elementos, contienen otros, ya no son aleaciones binarias sencillas y se denominan: Aceros Aleados. Los elementos de aleación más comunes en los aceros aleados son níquel, cromo, manganeso, molibdeno y vanadio, aunque pueden también contener cobre, plomo y otros elementos no tan frecuentes. Los Aceros al Carbono son lo más comunes. Si se considera el volumen de producción frente a otras aleaciones férricas más complejas se destinan a cubrir las necesidades generales de la ingeniería en la construcción de edificios, estructuras, puentes, minas. Industria naval, automoción, calderas y componentes de ferrocarriles (vagonetas, ejes, carriles, etc.).

Los aceros al carbono se pueden clasificar en función de su contenido en carbono, teniendo en cuenta que son más duros cuanto más carbono contienen, y estos determinará su respuesta en servicio. Así, se pueden distinguir básicamente los tres grupos siguientes:

- ✓ Aceros bajos en carbono, para  $\%C < 0.20$ .
- ✓ Aceros medios en carbono, si  $0.20 < \% C < 0.50$ .
- ✓ Aceros altos en carbono cuando  $\%C \geq 0.50$ .

Los aceros aleados son materiales de mayor calidad (y mayor precio) que los aceros al carbono. Se emplean cuando se necesitan unos requisitos de resistencia (mecánica o química) superiores.

En general, se entiende que los aceros son de baja aleación si el contenido en elementos aleantes se sitúa entre el 1 y el 4%. El resto de aceros aleados se definen como Aceros Especiales y se hace referencia a ellos en función del elemento de aleación más representativo:

- **Aceros al Cromo:** la adición de cromo, hasta el 4%, aumenta la dureza, la elasticidad, la resistencia a la tracción y también la resistencia al desgaste de los aceros. Se emplean aceros con 4% de cromo para la fabricación de herramientas de corte de alta velocidad. Si el porcentaje en cromo es superior a 12, el acero deviene inoxidable y presenta muy buena resistencia al calor y a los agentes químicos ácidos.
- **Aceros al Manganeso:** para contenidos superiores al 0.8% en este elemento, los aceros presentan una gran resistencia al desgaste y al impacto, con lo cual resultan de gran utilidad en construcción de blindajes, ruedas locomotora, trituradora, etc.
- **Aceros al Plomo:** se caracterizan por presentar una fina dispersión de glóbulos o partículas de plomo, ya que éste es un elemento prácticamente insoluble en los aceros. Esta morfología facilita notablemente el mecanizado.
- **Aceros al Silicio:** se emplean para la construcción de muelles. Cuando el contenido en silicio se sitúa entre el 2 y el 4%, entonces se utilizan para núcleos de transformadores en maquinaria de mecanización.

- **Aceros al Molibdeno:** se caracterizan por poseer excelentes propiedades mecánicas en caliente (dureza y resistencia) simultaneadas con una notable tenacidad.
- **Aceros al Níquel:** poseen mayor resistencia a tracción y tenacidad que los aceros al carbono, especialmente a bajas temperaturas. Este elemento también influye notablemente en la resistencia a la corrosión, siendo su contenido muy importante (después del cromo) en los aceros inoxidable.
- **Aceros al Vanadio:** este elemento forma carburos con gran facilidad, que precipitan en los bordes de grano, limitando su crecimiento a temperaturas elevadas. Estos carburos también tienen un efecto importante en la resistencia al desgaste.

Los aceros de Herramienta son aceros de alta aleación que se caracterizan por su resistencia al desgaste, su resistencia mecánica y su dureza, incluso en caliente. Este conjunto de propiedades los hacen altamente indicados para ser utilizados como herramientas de corte, matrices y moldes. La presencia de elementos de aleación en porcentajes importantes permite que estos materiales sean tratados térmicamente a fin de mejorar su resistencia y favorecer la precipitación de carburos que incrementan la dureza. Los elementos que suelen contener son, además de C (entre un 0.4 y un 1.0%) y Cr (entre un 0.5 y un 12%), Mo (entre un 0.2 y un 5.0%) y W (entre un 0.5 y un 18%).

### **3.4 Aceros grado herramienta (Clasificación de aceros)**

Los aceros para herramientas son generalmente aceros de alta aleación utilizados para la fabricación de piezas que requieran alta resistencia al desgaste y/o al impacto. Generalmente usados en la fabricación de troqueles, cuchillas, dados sujetos a choques térmicos, moldes, herramientas para prensas de extrusión, dados de forja, insertos, camisas, rodos de laminación, etc.

Hay varios métodos para clasificar los aceros para herramientas. Uno es según los medios de templado que se usen, como aceros templados en agua, aceros templados en aceite y aceros templados en aire. El contenido de la aleación es otro medio de clasificación, como aceros al carbono para herramientas, aceros de baja aleación para herramientas y aceros de mediana aleación para herramientas. Un último método de agrupación es el basado en el empleo del acero para herramientas, como aceros para trabajo en caliente, aceros resistentes al impacto, aceros de alta velocidad y aceros para trabajo en frío.

El método de identificación y tipo de clasificación de los aceros para herramientas adoptado por la AISI tiene en cuenta el método de templado, aplicaciones, características particulares y aceros para industrias específicas. Los aceros para herramientas que más se utilizan se han agrupado en siete grupos y a cada grupo o subgrupo se le ha asignado una letra del alfabeto. La clasificación es como se muestra en la tabla VI.

**Tabla X:** Clasificación de los aceros para herramientas (AISI)

GRUPO	SÍMBOLO
Templados en agua	W
Resistentes al impacto	S
Trabajo en frío	
Templable en aceite	O
Templable en aire	A
Alto carbón, alto cromo	D
Trabajo en caliente	H H1-H19 base cromo H29-H39 base tungsteno H40-H59 base molibdeno
Alta velocidad	T base tungsteno M base molibdeno
Moldes	P Aceros para moldes
Propósitos específicos	L baja aleación F carbono-tungsteno

Fuente: Sydney Avner. Introducción a la metalurgia física. Pág. 384.

### 3.4.1 Clasificación de los aceros

**Tabla XI:** Clasificación de los aceros

Clasificación	Número	Clasificación de Números
<b>ACERO AL CARBONO SAE-ASI</b>	1XXX	
Carbono	10XX	1006-1095
Mecanizado libre (Resulfurizado)	11XX	1108-1151
Resulfurizado, refosforizado	12XX	1211-1214
Manganeso (1.5-2.0%)	13XX	1320-1340
<b>MOLIBDENO</b>	4XXX	
C-Mo (0.25% Mo)	40XX	4024-4068
Cr-Mo (Cr, 0.70%; Mo, 0.15%)	41XX	4130-4150
Ni-Cr-Mo (Ni 1.8%, Cr, 0.65%)	43XX	4317-4340

Continuación tabla XI

Clasificación	Número	Clasificación de Números
<b>Ni-Cr (0.45%)-Mo (0.2%)</b>	47XX	
<b>Ni-Mo (3.5% Ni, 0.25% Mo)</b>	48XX	4812-4820
<b>CROMO</b>	5XXX	
<b>0.5% Cr</b>	50XX	
<b>1.0% Cr</b>	51XX	5120-5152
<b>1.5% Cr</b>	52XXX	52095-52101
<b>Resistencia a la corrosión-calor</b>	514XX	(AISI 400 series)
<b>CROMO-VANADIO</b>	6XXX	
<b>1% Cr.-0.12V,</b>	61XX	6120-6152
<b>SILICO-MANGANESO</b>		
<b>0.85 Mn, 2% Si</b>	92XX	9255-9262
<b>ACEROS ALEADOS, TRIPLES</b>		
<b>0.55% Ni, 0.50% Cr, 0.20% Mo</b>	86XX	8615-8660
<b>0.55% Ni, 0.50% Cr, 0.25% Mo</b>	87XX	8720-8750
<b>3.25% Ni, 1.20% Cr, 0.12% Mo</b>	93XX	9310-9317
<b>0.45% Ni, 0.40% Cr, 0.12% Mo</b>	94XX	9437-9445
<b>0.45% Ni, 0.15% Cr, 0.20% Mo</b>	97XX	9747-9763
<b>1.00% Ni, 0.80% Cr, 0.25% Mo</b>	98XX	9840-9850
<b>BORO (alrededor de 0.005% Mn)</b>	XXBXX	

Fuente: Manufactura, ingeniería y tecnología, cuarta edición, Kalpakjian schmid pág. 74

### 3.4.2 Características mecánicas y tecnológicas de los aceros

Aunque es difícil establecer las propiedades físicas y mecánicas del acero debido a que estas varían con los ajustes en su composición y los diversos tratamientos térmicos, químicos o mecánicos, con los que pueden conseguirse aceros con combinaciones de características adecuadas para infinidad de aplicaciones, se pueden citar algunas propiedades genéricas:

- Su densidad media es de 7850 kg/m<sup>3</sup>.
- En función de la temperatura el acero se puede contraer, dilatar o fundir.
- El punto de fusión del acero depende del tipo de aleación y los porcentajes de elementos aleantes. El de su componente principal, el hierro es de alrededor de 1.510 °C en estado puro (sin alear), sin embargo el acero presenta frecuentemente temperaturas de fusión de alrededor de 1.375 °C, y en general la temperatura necesaria para la fusión aumenta a medida que se funde (excepto las aleaciones eutécticas que funden de golpe). Por otra parte el acero rápido funde a 1.650 °C.
- Su punto de ebullición es de alrededor de 3.000 °C.
- Es un material muy tenaz, especialmente en alguna de las aleaciones usadas para fabricar herramientas.
- Relativamente dúctil. Con él se obtienen hilos delgados llamados alambres.

- Es maleable. Se pueden obtener láminas delgadas llamadas hojalata. La hojalata es una lamina de acero, de entre 0,5 y 0,12 mm de espesor, recubierta, generalmente de forma electrolítica, por estaño.
- Permite una buena mecanización en máquinas herramientas antes de recibir un tratamiento térmico.
- Algunas composiciones y formas del acero mantienen mayor memoria, y se deforman al sobrepasar su límite elástico.
- La dureza de los aceros varía entre la del hierro y la que se puede lograr mediante su aleación u otros procedimientos térmicos o químicos entre los cuales quizá el más conocido sea el templado del acero, aplicable a aceros con alto contenido en carbono, que permite, cuando es superficial, conservar un núcleo tenaz en la pieza que evite fracturas frágiles. Aceros típicos con un alto grado de dureza superficial son los que se emplean en las herramientas de mecanizado, denominados aceros rápidos que contienen cantidades significativas de cromo, wolframio, molibdeno y vanadio. Los ensayos tecnológicos para medir la dureza son Brinell, Vickers y Rockwell, entre otros.
- Se puede soldar con facilidad.
- La corrosión es la mayor desventaja de los aceros ya que el hierro se oxida con suma facilidad incrementando su volumen y provocando grietas superficiales que posibilitan el progreso de la oxidación hasta que se consume la pieza por completo.

Tradicionalmente los aceros se han venido protegiendo mediante tratamientos superficiales diversos. Si bien existen aleaciones con resistencia a la corrosión mejorada como los aceros de construcción «corten» aptos para intemperie (en ciertos ambientes) o los aceros inoxidable.

- Posee una alta conductividad eléctrica. Aunque depende de su composición es aproximadamente de  $3 \cdot 10^6$  S/m. En las líneas aéreas de alta tensión se utilizan con frecuencia conductores de aluminio con alma de acero proporcionando éste último la resistencia mecánica necesaria para incrementar los vanos entre la torres y optimizar el coste de la instalación.
- Se utiliza para la fabricación de imanes permanentes artificiales, ya que una pieza de acero imantada no pierde su imantación si no se la calienta hasta cierta temperatura. La magnetización artificial se hace por contacto, inducción o mediante procedimientos eléctricos. En lo que respecta al acero inoxidable, al acero inoxidable ferrítico sí se le pega el imán, pero al acero inoxidable austenítico no se le pega el imán ya que la fase del hierro conocida como austenita no es atraída por los imanes. Los aceros inoxidables contienen principalmente níquel y cromo en porcentajes del orden del 10% además de algunos aleantes en menor proporción.
- Un aumento de la temperatura en un elemento de acero provoca un aumento en la longitud del mismo. Este aumento en la longitud puede valorarse por la expresión:  $\delta L = \alpha \delta t^\circ L$ , siendo  $\alpha$  el coeficiente de dilatación, que para el acero vale aproximadamente  $1,2 \cdot 10^{-5}$  (es decir  $\alpha = 0,000012$ ).

Si existe libertad de dilatación no se plantean grandes problemas subsidiarios, pero si esta dilatación está impedida en mayor o menor grado por el resto de los componentes de la estructura, aparecen esfuerzos complementarios que hay que tener en cuenta. El acero se dilata y se contrae según un coeficiente de dilatación similar al coeficiente de dilatación del hormigón, por lo que resulta muy útil su uso simultáneo en la construcción, formando un material compuesto que se denomina hormigón armado. El acero da una falsa sensación de seguridad al ser incombustible, pero sus propiedades mecánicas fundamentales se ven gravemente afectadas por las altas temperaturas que pueden alcanzar los perfiles en el transcurso de un incendio.

### **3.4.3 Diagrama hierro-carburo de hierro**

En la Figura 15 se muestra la parte útil del diagrama de equilibrio hierro carbono. De acuerdo con su composición, las aleaciones hierro - carbono se dividen, usualmente, en tres categorías:

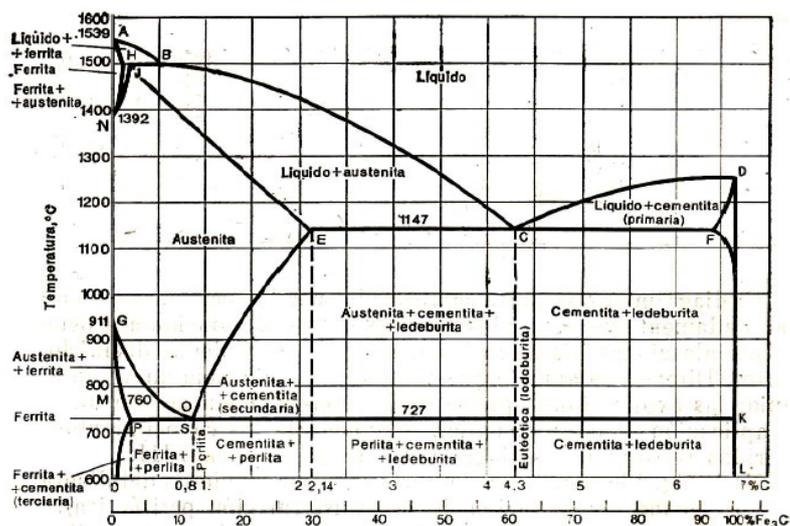
1. Hierros, en los que el contenido de carbono es muy bajo y su efecto sobre las propiedades ordinarias es despreciable.
2. Aceros, cuyo contenido de carbono es importante. Usualmente se encuentran en el intervalo de 0.010% a 1.5% con un valor máximo de 2.0%.

3. Fundiciones, en las que el contenido de carbono es tal que haga que se solidifique parte del líquido en la composición eutéctica. El contenido mínimo de carbono es, por lo tanto, de aproximadamente 2.0%, mientras que el máximo práctico es de, aproximadamente, 4.5%.

El intervalo de acero se subdivide aún más con base al contenido de carbono eutectoide (0.8% de C). Los aceros que contienen menos del 0.8% de C se llaman **aceros hipoeutectoides**, en tanto que los que contienen de 0.8 a 2.0% de C se llaman **aceros hipereutectoides**. El intervalo de hierro fundido también puede subdividirse por el contenido de carbono eutéctico (4.3% de C).

Los hierros fundidos que contienen menos del 4.3% de C se conocen como **hierros fundidos hipoeutécticos**, en tanto que los que contienen más del 4.3% de C se llaman **hierros fundidos hipereutécticos**.

Figura 11: Diagrama Hierro-Carburo de hierro



Fuente: A.P. Guliaev. Metalografía, tomo 1. Pág. 165.

➤ **Práctica de Laboratorio**

**UTILIZACIÓN DEL ESPECTRÓMETRO DE MASAS  
PARA ARENA DE FUNDICIÓN  
(Práctica No.1)**

Profesor		Pre-Reporte	20%	
Auxiliar		Examen	20%	
Nombre		Reporte	40%	
Hora y día de clase		Conclusiones	20%	
Grupo de Lab.		<b>TOTAL</b>	100%	

**PRE-REPORTE**

- ¿Qué es la espectrometría de masas?
- ¿Cuáles son las aplicaciones de la espectrometría de masas?
- ¿Cuáles son los componentes esenciales de un espectrómetro de masas?

**1. OBJETIVOS**

- Aprender a manejar el equipo, y sus aplicaciones industriales, para mejorar las propiedades de la arena para fundición.
- Conocer la programación del espectrómetro de masas y su sistema de entradas y salidas de información.

## 2. MATERIAL / EQUIPO

- Espectrómetro de masas
- Muestra de arena
- Pesa digital

## 3. PROCEDIMIENTO

1. Explicación del proceso impartida por el encargado del laboratorio.
2. Tomar muestra de arena.
3. Pesar la arena
4. Colocar la muestra de arena en espectrómetro de masas.
5. Toma de resultados del espectrómetro.

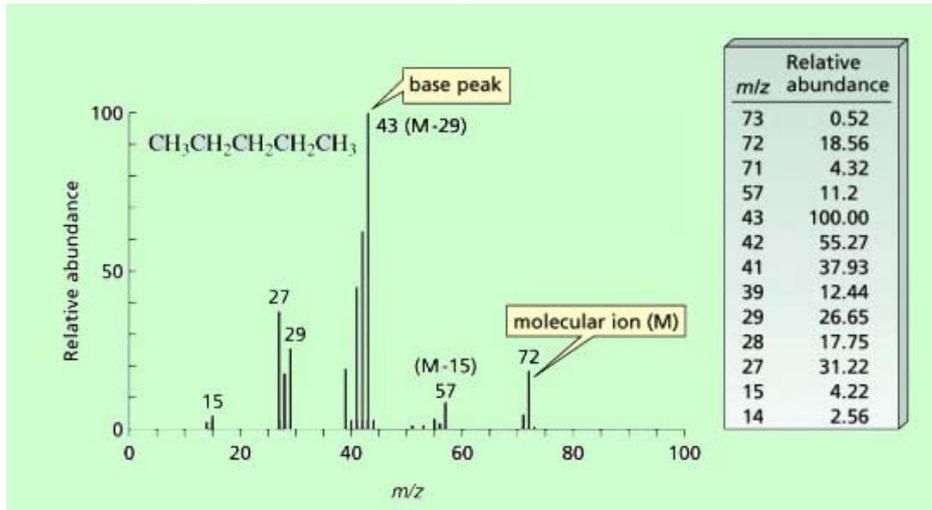
## 4. RESULTADOS

1. Resultados del análisis (Masa/carga vs Abundancia de componentes)

m/z	Abundancia Relativa

2. Realizar la gráfica masa/carga ( $m/z$ ) vs. abundancia relativa

**Figura 12.** Maza/Carga vs. abundancia relativa



Fuente: [http://mural.uv.es/calolan/#Aplicaciones\\_de\\_la\\_E.M.](http://mural.uv.es/calolan/#Aplicaciones_de_la_E.M.)

- ¿Cuál es el punto base, o el componente más abundante en la muestra?
- ¿Cuál la molécula con mayor ionización de la muestra?

## 5. DESCRIPCIÓN

Foto	Descripción del Proceso

## 6. CONCLUSIONES

## 4. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

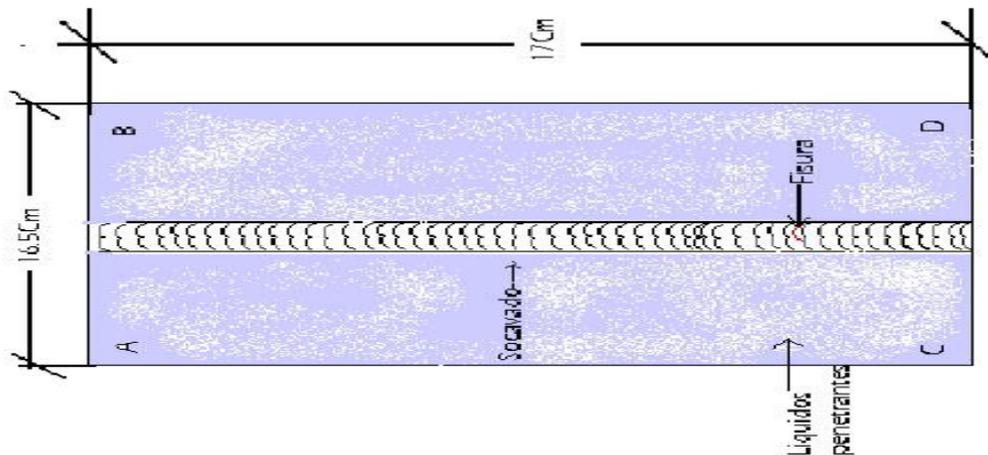
### 4.1 Líquidos penetrantes coloreados y fluorescentes

El líquido penetrante tiene la propiedad de penetrar en cualquier abertura u orificio en la superficie del material. El penetrante ideal debe reunir lo siguiente:

- ✓ Habilidad para penetrar orificios y aberturas muy pequeñas y estrechas.
- ✓ Habilidad de permanecer en aberturas amplias.
- ✓ Habilidad de mantener color o la fluorescencia.
- ✓ Habilidad de extenderse en capas muy finas.
- ✓ Resistencia a la evaporación.
- ✓ Fácil remoción de la superficie.
- ✓ Difícil eliminación una vez dentro de la discontinuidad.
- ✓ Fácil absorción de la discontinuidad.
- ✓ Atóxico.
- ✓ Inodoro.
- ✓ No corrosivo.
- ✓ Anti inflamable.
- ✓ Estable bajo condiciones de almacenamiento.
- ✓ Costo razonable.

Cuando se suelda nuevamente la zona reparada, esta deberá ser limpiada perfectamente.

**Figura 13:** Ensayo por liquido penetrante



**Fuente:** Manual para el desarrollo del Laboratorio del curso de Procesos de Manufactura Dos, para Estudiantes de Ingeniería Mecánica, Raynner Rolando Pinto Lima, Pág. 112

### ➤ **Requerimientos de reparación**

Las imperfecciones que no sean aceptadas deberán ser reparadas y reexaminadas para estar seguros que se remueven o reduzcan a una medida aceptable. Cuando una imperfección es reparada por esmerilado y subsecuentemente se suelda nuevamente (que no es requerido) el área excavada deberá ser compatible dentro de la superficie del rededor, así como evitar muescas afiladas, grietas o esquinas. Cuando se suelda nuevamente la zona reparada, esta deberá ser limpiada perfectamente.

#### 4.1.1 Clasificación de líquidos penetrantes

Se aplica el líquido penetrante a la superficie de la pieza a ser examinada, permitiendo que penetre en las aberturas del material, después el exceso del líquido es removido. Se aplica entonces el revelador, el cual es humedecido o afectado por el penetrante atrapado en las discontinuidades de esta manera se incrementa la evidencia de las discontinuidades, tal que puedan ser vistas ya sea directamente o por medio de una lámpara o luz negra.

- ✓ Tipo I = Penetrante fluorescente.
- ✓ Tipo II = Tintas permanentes o visibles.
- ✓ Proceso A = Penetrante lavable en agua.
- ✓ Proceso B = Penetrante postemulsificado.
- ✓ Proceso C = Penetrante removido con solvente.
- ✓ Revelador seco: Grano fino se aplica por espolvoreado, rociado o sumergido.
- ✓ Revelador no acuoso: Es una suspensión absorbente, aplicado por rocío.
- ✓ Revelador húmedo: Es una suspensión absorbente de polvo en agua, se aplica por inmersión.
- ✓ Portátil (atomizador)
- ✓ Estacionario (inmersión)

## **4.2 Ultrasonido para determinar defectos y evaluación de espesores**

La inspección mediante ultrasonido se basa en la detección del eco producido por una grieta o discontinuidad de tipo planar, cuando incide sobre ella una onda sonora de frecuencia ultrasónica. La señal ultrasónica también es introducida por un transductor piezoeléctrico, el cual funciona también como detector. El transductor, conocido como “palpador”, se coloca sobre la superficie de la pieza a examinar, mediante un líquido llamado “acoplante”, cuya función es la de proveer un medio de transmisión del sonido entre la superficie de la pieza y el palpador, ya que el aire atenúa fuertemente las vibraciones sonoras. Cuando las ondas sonoras son introducidas en forma perpendicular a la superficie, son de tipo compresivo (producen desplazamientos perpendiculares al frente de propagación de la onda en las partículas del material) y se denominan de haz recto. En cambio, si las ondas ingresan al material en forma inclinada, son de tipo cortante (el desplazamiento de las partículas del material es paralelo al frente de onda) y se denomina haz angular. La selección de un tipo de haz depende de la orientación de los defectos que se esperan detectar con respecto a la superficie por la que ingresa el haz.

La detección se realiza en base a dos parámetros: el primero es el tiempo que tarda en regresar el eco, llamado “tiempo de vuelo” y que, conociendo la velocidad del sonido en el material de prueba, permite calcular la distancia a la cual se encuentra la discontinuidad que reflejó la onda. Esto permite la medición de espesores, que es una de las principales aplicaciones del ultrasonido. El segundo parámetro de detección es la energía con que regresa la onda.

Esta energía se mide en decibeles y en un equipo de detección usualmente es presentada como la altura de la señal, mientras que el tiempo es el ancho de la señal; por ello la energía de la señal ultrasónica se refiere como “amplitud”.

Los equipos modernos de detección de grietas por ultrasonido cuentan con una pantalla de osciloscopio donde, previa introducción de los datos de velocidad del sonido y nivel de energía de detección se muestra una gráfica de amplitud vs. Distancia, la cual es usada para la identificación y medición de defectos.

El ultrasonido permite detectar discontinuidades superficiales, sub-superficiales e internas, dependiendo del tipo de palpador utilizado y de las frecuencias que varían de 0.25 a 25 MHz

#### **4.2.1 Equipo para ensayos con ultrasonido**

➤ **ULTRAPROBE 201Grease Caddy:** el uraprobe está únicamente diseñado para permitir a un operador individual lubricar y monitorear niveles de ultrasonido simultáneamente para prevenir sobre-lubricación.

- ✓ Prolongará la vida útil de su equipo
- ✓ Previene sobre lubricación
- ✓ Ahorro en horas-hombre
- ✓ Ahorro en costos de operación
- ✓ Aumenta la eficiencia en el mantenimiento.

Así como los niveles de lubricación fallan, los niveles de fricción se incrementan, produciendo ondas ultrasónicas, las cuales son muy direccionales y localizadas. Se adaptan fácilmente a muchas graseras estándar, o usarse en un cinturón opcional.

El Ultraprobe 201 Grease Caddy traduce los sonidos de alta frecuencia al rango audible, donde los usuarios escucharán y reconocerán los sonidos de rodamientos. El Ultraprobe 201 Grease Caddy focaliza en estos sonidos – inclusive en los ambientes más ruidosos – y ayuda a los usuarios a identificar cuando detener la lubricación.

**Tabla XII:** Especificaciones del ULTRAPROBE 201 Grease Caddy

<b>Especificaciones del ULTRAPROBE® 201 Grease Caddy</b>	
<b>Pistola:</b>	Se adapta directamente a la graseras, da una indicación visual y audible para una lubricación adecuada.
<b>Construcción:</b>	Pistola de Aluminio
<b>Dimensiones:</b>	5.25" x 2.65" x 1.25" (LWH) (13.3 X 6.7 X 4.5 c.m.)
<b>Temperatura de Funcionamiento:</b>	32°F a 140°F (0°C a 60°C)
<b>Humedad Relativa:</b>	10-95 sin condensación por encima de 86°F (30°C)
<b>Circuito:</b>	SMD/ Receptor de estado sólido heterodino
<b>Transductor:</b>	Transductor piezoeléctrico magnético
<b>Respuesta de Frecuencia:</b>	Respuesta pico: centrada cerca de 38 KHz
<b>Indicador</b>	Gráfico de barras con LED de 10 segmentos (rojo) LED de luz brillante para la iluminación del área de inspección.
<b>Selección de Sensibilidad:</b>	Atenuación de precisión de 8 posiciones
<b>Potencia:</b>	Níquel metal hidrido Recargable
<b>Apagado:</b>	Se apaga después de cinco (5) minutos
<b>Indicador de Batería Baja:</b>	LED
<b>Audífonos:</b>	Aisladores de ruido para usar con casco. Atenuación de ruido sobre 23 dB. Cumple o excede las especificaciones ANSI y los estándares OSHA
<b>Adaptador:</b>	Universal: Se adapta a las graseras convencionales más usadas.
<b>Peso:</b>	16 oz (.45Kg)
<b>Garantía:</b>	1 año piezas/mano de obra estándar. 5 años completando el registro de garantía.

Fuente: [www.diatec-ca.com](http://www.diatec-ca.com)

➤ **ULTRAPROBE 10,000:** es el sistema de inspección ultrasónica más avanzado a nivel mundial. Esta innovación es un paquete con muchas características que harán sus inspecciones eficientes y fáciles. El ULTRAPROBE 10,000 está listo para mostrar el potencial de cualquiera de sus programas de inspección. El ULTRAPROBE 10,000 permite:

- ✓ Grabar y analizar sonidos
- ✓ Desarrollar análisis de condición
- ✓ Almacenar las mediciones
- ✓ Tendencias de los resultados
- ✓ Revisar resultados de inspecciones anteriores
- ✓ Manejar sus datos.
- ✓ Inspecciones de la forma como desee con:
- ✓ Pantallas especializadas para cada aplicación.
- ✓ Características ajustables de Encendido/Apagado.
- ✓ Conexión a equipos externos
- ✓ Opciones flexibles de reporte

El **Ultraprobe 10,000** tiene un software con cualquier aplicación específica que usted requiera. Haciendo clic a un botón, usted puede seleccionar una aplicación con campos especializados para reportes y análisis precisos.

**Tabla XIII:** Especificaciones del ULTRAPROBE 10,000

<b>Especificaciones del ULTRAPROBE® 10,000</b>	
<b>Construcción:</b>	Tipo pistola portátil hecho con aluminio revestido y plástico ABS
<b>Circuito:</b>	Análogos de estado sólido y circuitos digitales SMD con compensación de temperatura conversión real RMS.
<b>Rango Frecuencia:</b>	20 Khz. a 100 Khz. (Sintonizable en incrementos de 1KHz)
<b>Tiempo de Respuesta:</b>	< 10 ms
<b>Pantalla:</b>	64 x 128 LCD con luz posterior LED
<b>Memoria:</b>	400 ubicaciones de almacenamiento
<b>Batería:</b>	NIMH Recargable
<b>Temperatura de Funcionamiento:</b>	32°F a 122°F (10°C a 50°C)
<b>Salidas:</b>	Salida heterodina calibrada, decibeles (dB), frecuencia, salida de datos RS-232.
<b>Módulos:</b>	Modulo escáner trisónico, modulo estetoscopio, módulo de largo alcance
<b>Audifonos:</b>	Audifonos de lujo atenuadores de ruido para usar con casco.
<b>Indicadores:</b>	dB, Frecuencia, estado de la batería y gráfico de barras de 16 segmentos
<b>Sensibilidad:</b>	Detecta 0.005" (.127mm) de diámetro de fuga a 5 psi (0.34 bar) a una distancia de 50 ft (15.24 m).
<b>Umbral * :</b>	1 x 10 <sup>-2</sup> std. Cc/seg a 1 x 10 <sup>-3</sup> std. Cc/seg
<b>Dimensiones:</b>	Kit completo en estuche de aluminio Zero Halliburton 21.5" x 18.5" x 8" (55 x 47 x 20 cm.)
<b>Peso:</b>	Pistola: 2.35 lb. (1.1 Kg.) Estuche completo: 19 lb. (8.6 Kg.)
<b>Garantía:</b>	1 año piezas/mano de obra estándar. 5 años completando el registro de garantía
<b>Modos de pantalla:</b>	Tiempo real e instantáneo, valor pico, pantalla de almacenamiento y pantalla de aplicaciones específicas.

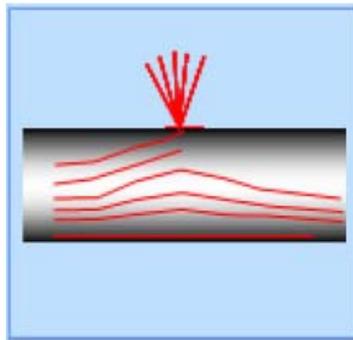
Fuente: [www.diatec-ca.com](http://www.diatec-ca.com)

#### 4.2.2 Aplicación del ultrasonido

➤ **DETECCIÓN DE FUGAS EN LÍNEAS DE AIRE A PRESIÓN:** el aire comprimido es una de los servicios más costosos en las plantas productivas. Se estima que entre un 20% a un 30% del aire comprimido se pierde por fugas causando sobrecarga en los compresores y fluctuaciones de presión en los sistemas.

La turbulencia que se forma en las fugas crea un sonido con un gran componente de ondas ultrasónicas. Utilizando un detector de ultrasonido se pueden ubicar fácilmente fugas en líneas con presiones tan bajas como 15 psi, en ambientes altamente ruidoso. Se estima que una fuga de 0.4 mm en una línea de 100 psi, causa una pérdida de aire de 216.000 pies cúbicos anualmente.

**Figura 14:** Fuga en línea de aire a presión



**Fuente:** [www.diatec-ca.com](http://www.diatec-ca.com)

➤ **MONITOREO DE RODAMIENTOS:** todos los rodamientos, bueno o malos, viejos o nuevos emiten energía ultrasónicas causadas por la fricción entre los elementos de rodadura y las pistas. A mayor fricción o defectos en la superficies mayor es la emisión acústica. Un rodamiento correctamente lubricado emite menos energía ultrasónica que uno mal lubricado. Utilizando un detector ultrasónico se puede determinar de una manera muy precisa los intervalos de re-lubricación. Analizando periódicamente la emisión ultrasónica de un rodamiento se puede determinar cuando el rodamiento entra en su primera etapa de falla.

**Figura 15:** Monitoreo de Rodamientos



**Fuente:** [www.diatec-ca.com](http://www.diatec-ca.com)

➤ **LUBRICACIÓN ACÚSTICA:** el Monitoreo por Vibración Acústica permite determinar de una manera muy precisa los intervalos de re-lubricación y las cantidades apropiadas de grasa.

Aplicar mayor cantidad de grasa que la necesaria daña sellos, sobre presuriza el rodamiento, incrementa la fricción fluida llevando al rodamiento a recalentarse y finalmente a fallar. Aplicar menor cantidad de la requerida causa prematuro desgaste y al igual que el exceso de grasa termina por destruir el rodamiento. Utilizando un detector de ultrasonido para aplicar acústicamente la cantidad apropiada de grasa se prolonga la vida del rodamiento.

**Figura 16:** Lubricación acústica



Fuente: [www.diatec-ca.com](http://www.diatec-ca.com)

➤ **INSPECCIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR:** los crecientes costos de la energía han hecho que el vapor sea un servicio muy costoso para desperdiciar. Estudios realizados han encontrado que en una planta típica entre un 30% y un 40% de sus trampas de vapor no funcionan correctamente. Los problemas ocasionados por las trampas defectuosas van desde bajas eficiencias térmicas por condensado en el vapor hasta golpe de ariete. Utilizando un detector ultrasónico se puede determinar claramente si existe o no flujo de vapor pues el flujo turbulento genera ondas en el rango ultrasónico. Adicionalmente utilizando el mismo principio se pueden inspeccionar válvulas con problemas.

➤ **FUGAS EN INTERCAMBIADORES DE CALOR Y CONDENSADORES:** utilice un detector de ultrasonido para buscar fugas externas de presión o vacío en intercambiadores y condensadores. Escuche el sonido característico que se produce por la turbulencia al pasar el vapor de una presión a otra. Chequee todos los flanges, conexiones de tuberías, sellos y puertas de acceso.

Las fugas en los tubos de condensadores e intercambiadores se pueden inspeccionar utilizando el método de presurizar o hacer vacío o usando un transmisor de ultrasonido.

➤ **COMPRESORES RECIPROCANTES:** los compresores reciprocantes abren y cierran sus válvulas al igual que los motores de combustión interna para “respirar”. Cuando en los asientos de estas válvulas se forman depósitos ocasionados por carbón o suciedad, las válvulas no cierran bien y el compresor pierde eficiencia.

Deficiencias en el sellado de la válvula ocasiona fugas del aire comprimido causando turbulencia que se puede detectar con un sensor de ultrasonido. Utilizando las capacidades del ultrasonido se puede establecer una rutina de análisis para el compresor y generar una línea de tendencia para definir el momento en el cual se debe parar el compresor para mantenimiento.

### **4.3 Radiografía Industrial**

La inspección por radiografía industrial (RT) detecta discontinuidades microscópicas y variaciones en la estructura interna de un material; la radiografía permite obtener una imagen de la estructura interna de una pieza o componente. Durante la exposición, la energía de rayos X o gamma es absorbida o atenuada al atravesar el material; esta atenuación es proporcional a la densidad, espesor y continuidad del material empleado.

La radiación que traspasa el objeto es registrada en una placa o papel fotosensible, que posteriormente se revela para obtener la imagen del área inspeccionada o es observada en una pantalla fluorescente o en una pantalla de televisión. Los rayos X son generados por dispositivos electrónicos y los rayos gamma por fuentes radiactivas naturales o isótopos radiactivos artificiales producidos para la radiografía industrial, como iridio 192, cobalto 60, cesio 137 y tulio 170.

Los radioisótopos, como cobalto 60 o el iridio 192, emiten radiación constante por lo que se emplean contenedores especiales o cámaras para almacenar y controlarlos dentro de una cápsula, cuando la cápsula está en el contenedor, la mayoría de los rayos gamma son absorbidos por el blindaje. Cuando la fuente es sacada del contenedor por medio de un cable de control, la radiación del radioisótopo se dispersa en todas direcciones y es empleada para crear una radiografía.

Al realizar la inspección el inspector debe mantenerse a una distancia prudente de la fuente para evitar la exposición, además de usar una protección (plomo, acero, concreto) entre el individuo y la fuente. A continuación, se coloca la fuente a la distancia calculada con respecto al objeto y se coloca la película radiografía del otro lado de éste para registrar la radiación provoca la sensibilización de la película radiografía, que es idéntica al negativo de una fotografía. Entre mayor sea la cantidad de radiación que incida sobre la película, más se ennegrecerá ésta.

Con el propósito de determinar la sensibilidad y calidad de una radiografía, se emplean penetrámetros, cuyo espesor corresponde aproximadamente 2% del espesor de la parte a inspeccionar, los cuales se colocan del lado de la fuente.

El proceso de revelado se hace en laboratorio de revelado, las radiografías deben poseer alta densidad radiográfica y calidad de imagen. La densidad radiográfica de una película es su grado de “ennegrecimiento”, el cual debe tener una densidad entre 2 y 4, dependiendo del tipo de fuente empleada.

La radiografía industrial se utiliza para la detección de defectos internos, como grietas socavadas, penetración incompleta en la raíz, falta de fusión, en productos soldados, fundiciones, forjas, etc. La ventaja de la radiografía industrial es que se aplica a todo tipo de materiales y proporciona un registro visual del interior del material inspeccionado.

Las limitaciones de la radiografía industrial:

- ✓ No es recomendable utilizarla en piezas de geometría complicada.
- ✓ La pieza de inspección debe tener acceso al menos por dos lados.
- ✓ Su empleo requiere el cumplimiento de estrictas medidas de seguridad.
- ✓ El personal debe de estar altamente capacitado, calificado y con experiencia.
- ✓ Requiere de instalaciones especiales, como el área de exposición, equipo de seguridad y cuarto oscuro para el proceso de revelado.
- ✓ Las discontinuidades de tipo laminar no pueden ser detectadas por este método.

### 4.3.1 Equipo de rayos X

➤ **Y.XMB160 and Y.XMB225 Mobile Constant Potential X-Ray Systems:** sistemas de rayos X de potencial están especialmente diseñados para tareas de inspección móvil. Debido a la extraordinaria de alta potencia, el XMB Y. son adecuados para una amplia variedad de aplicaciones que van desde la baja densidad compuesto materiales al aluminio y el acero.

Todos los componentes están dispuestos en un carro con neumáticos, que permite un fácil transporte por una persona. El tamaño pequeño de sólo 60 cm, la plataforma sólida, y el gancho de la grúa del carro como así como el funcionamiento del enfriador fiable permite, en casi todas las condiciones.

Los sistemas de rayos-X son fáciles de operar. Set-up son modos de menús. Todos los indicadores y modos de funcionamiento se muestran en texto en claro con la elección de las lenguas cómoda opcional. Después de establecer los parámetros de inspección en las principales unidad de control, el sistema se puede activar o desactivar a través de un mando a distancia.

**Tabla XIV: Modelos de equipo de Rayos "X"**

MODELOS	XMB160	XMB225
<b>MÁXIMA POTENCIA</b>	2.25KW	
<b>Margen de ajuste</b> <b>(Pantalla de LED de cuatro dígitos)</b>	7.5 - 160 kV	10 - 225 kV
<b>incrementos de Adaptación</b>	0,1 kV / paso	
<b>Precisión</b>	± 1% del valor de la demanda ± 0,1 kV	
<b>Reproducibilidad</b>	± 0,01% del valor máximo. valor kV a una temperatura constante	
<b>H.V. onda</b> <b>(Con 10 m de cable H.V.)</b>	10 V / mA, min. 20 V	
<b>Temperatura inducida por la deriva</b>	80 ppm / ° C en función del valor de la demanda	
<b>CORRIENTE DEL TUBO:</b>		
<b>Margen de ajuste</b> <b>(Pantalla de LED de cuatro dígitos)</b>	0 - 22.5 mA	0 - 15 mA
<b>Gama estándar en pasos</b>	0,05 mA de 0,5 mA máx. valor	
<b>Alto rango de resolución</b>	0,01 mA pasos de 0,0 mA máx. valor	
<b>Precisión</b>	± 0,2% del valor de la demanda ± 0,01 mA	
<b>Reproducibilidad</b>	± 2 µA	
<b>Diferencial de Temperatura</b>	50 ppm / ° C del valor de la demanda	

Fuente: [www.diatec-ca.com](http://www.diatec-ca.com)

➤ **Y.MG103/165/226 Universal unipolar constant potential X-ray systems:** la aplicación típica de cada sistema se adapta hacia las zonas de destino específicos como de baja densidad aplicaciones, especímenes biológicos (patología), plásticos y compuestos de caucho (MG103) y aluminio y acero, como las aplicaciones de fundición inspección (MG165 y MG226).

El unipolar 40 kHz sistemas de rayos X tienen un muy la estabilidad de alto rendimiento, una energía un ajuste preciso e un cambio extremadamente rápido encima a cualquier nuevo seleccionado valor. Cualquier fluctuación o desviación de los valores establecidos se controlada y corregida dentro de microsegundos. Además, estas características ayudan a reducir el tiempo de inspección considerablemente y altamente calificado para el sistema inspección en línea en rápido, completamente automatizado líneas de producción.

La amplia gama de llamadas para uso universal, fácil de sistema de uso de control realizado en la MGC41. Los modos de puesta a punto son menús. Todas las señales, modo de funcionamiento y diagnóstico de fallas de los internos o errores externos se muestran en texto en claro que puede ser fácilmente exhibido en una serie de opcionales idiomas. Otras indicaciones de error vienen dadas por códigos numéricos. Por otra parte, 100 técnicos programas se pueden almacenar para uso futuro, y cuando conectados a través de la interfaz de puerto serie, un número infinito de programas pueden ser almacenados en el equipo host. Todos los componentes del sistema están protegidos de daño del agua. H.V. Los productores y los Las fuentes de alimentación cumplen los requisitos de IP54.

**Tabla XV: Modelos YXLON-SYSTEM para Rayos "X"**

YXLON-SYSTEM	MG103/4.5	MG165/2.25	MG165/4.5	MG226/2.25	MG226/4.5
<b>MÁXIMA POTENCIA</b>	4,500 W	2,250 W	4,500 W	2,250 W	4,500 W
<b>Margen de ajuste</b> (Pantalla de LED de cuatro dígitos)	5-100 kV	7.5-160 kV	7.5-160 kV	10-225 kV	10-225 kV
<b>incrementos de Adaptación</b>	0,1 kV / paso				
<b>Precisión</b>	± 1% del valor de la demanda ± 0,1 kV				
<b>Reproducibilidad</b>	± 0,01% del valor máximo. valor kV a una temperatura constante				
<b>H.V. onda</b> (Con 10 m de cable H.V.)	5 V/mA, min. 20 V				
<b>Temperatura inducida por la</b>	80 ppm / ° C en función del valor de la demanda				
<b>CORRIENTE DEL TUBO:</b>					
<b>Margen de ajuste</b> (Pantalla de LED de cuatro dígitos)	0-45	0-22.5 mA	0-45 mA	0-15 mA	0-30 mA
<b>Gama estándar en pasos</b>	0,05 mA de 0,5 mA máx. valor				
<b>Alto rango de resolución</b>	0,01 mA pasos de 0,0 mA máx. valor				
<b>Precisión</b>	± 0,2% del valor de la demanda ± 0,01 mA				
<b>Reproducibilidad</b>	± 2 µA				
<b>Diferencial de Temperatura</b>	50 ppm / ° C del valor de la demanda				

Fuente: [www.diatec-ca.com](http://www.diatec-ca.com)

#### 4.4 Normas para ensayos no destructivos

**Tabla XVI:** Normas para ensayos no destructivos

Número	NOMBRE
<b>GENERALIDADES</b>	
<b>UNE 7-452</b>	Inspección por partículas magnetizables
<b>UNE-EN 1712</b>	Examen no destructivo de soldaduras - Examen ultrasónico de uniones soldadas - Niveles de aceptación
<b>UNE 14-612</b>	Práctica recomendada para el examen de las uniones soldadas mediante la utilización de líquidos penetrantes
<b>UNE-EN 10228-3</b>	Ensayos no destructivos de piezas de acero forjadas - Parte 3: Ensayo por ultrasonido de piezas forjadas en acero ferrítico o martensítico
<b>UNE-EN 1714</b>	Examen no destructivo de soldaduras - Examen ultrasónico de uniones soldadas
<b>UNE-EN 571-1</b>	Ensayos no destructivos - Ensayo por líquidos penetrantes - Parte1: Principios generales
<b>UNE-EN 25817</b>	Uniones soldadas por arcos de aceros - Guía sobre los niveles de calidad en función de las imperfecciones
<b>UNE-EN 12062</b>	Examen no destructivo de soldaduras - Reglas generales para los materiales metálicos
<b>UNE-EN 60406</b>	Chasis para diagnosis médica por rayos X - Chasis radiográficos
<b>UNE-EN ISO 3452-3</b>	Ensayos no destructivos - Ensayo por líquidos penetrantes - Parte 3: Bloques de patrón
<b>UNE-EN- 462-2</b>	Ensayos no destructivos - Calidad de imagen de las radiografías - Parte 2: Indicadores de calidad de imagen (Tipo taladros y escalones) - Determinación del valor de calidad de imagen
<b>UNE-EN 583-1</b>	Ensayos no destructivos - Examen por ultrasonidos - Parte 1: Principios generales

**Continuación de tabla XVI**

<b>UNE-EN 583-3</b>	Ensayos no destructivos - Examen por ultrasonidos - Parte 3: Técnica de transmisión
<b>UNE-EN 1518</b>	Ensayos no destructivos - Ensayos de fugas - Caracterización de los detectores de fugas por espectrometría de masa
<b>UNE-EN 1593</b>	Ensayos no destructivos - Ensayos de fugas - Técnica de emisión de burbujas
<b>UNE-EN 1779</b>	Ensayos no destructivos - Ensayos de fugas - Criterios para la elección del método y de la técnica
<b>UNE-EN 584-1</b>	Ensayos no destructivos - Película para radiografía industrial - Parte 1: Clasificación de los sistemas de película para radiografía industrial
<b>UNE-EN 584-2</b>	Ensayos no destructivos - Película para radiografía industrial - Parte 2: Control del proceso de las películas mediante valores de referencia
<b>UNE-EN 13068-1</b>	Ensayos no destructivos - Ensayo por radioscopia - Parte 1: Medida cuantitativa de las características de la imagen
<b>UNE-EN 13068-2</b>	Ensayos no destructivos - Ensayo por radioscopia - Parte 2: Control de la estabilidad a largo plazo de los dispositivos de imagen
<b>UNE-EN 12543-3</b>	Ensayos no destructivos - Características de los focos en equipos de rayos X industriales para su empleo en ensayos no destructivos - Parte 3: Método radiográfico por cámara de rendija
<b>UNE-EN 12543-4</b>	Ensayos no destructivos - Características de los focos en equipos de rayos X industriales para su empleo en ensayos no destructivos - Parte 4: Método por efecto de bordes
<b>UNE-EN 12543-5</b>	Ensayos no destructivos - Características de los focos en equipos de rayos X industriales para su empleo en ensayos no destructivos - Parte 5: Medida del tamaño efectivo del foco de los tubos de rayos X de mini y microenfoque
<b>UNE-EN 12544-2</b>	Ensayos no destructivos - Medición y evaluación de la tensión de los tubos de rayos X - Parte 2: Comprobación de la constancia según el método del filtro ancho

**Continuación de tabla XVI**

<b>UNE-EN 3452-2</b>	Ensayos no destructivos - Ensayos por líquidos penetrantes - Parte 2: Ensayo de materiales penetrantes
<b>UNE-EN 27963</b>	Soldaduras de acero - Bloque de calibración N° 2 para inspección por ultrasonidos de soldaduras
<b>UNE-ENV 583-6</b>	Ensayos no destructivos - Examen por ultrasonidos - Parte 6: Técnica por difracción del tiempo de vuelo como método para la detección y el dimensionamiento de discontinuidades
<b>UNE 7-452</b>	Inspección por partículas magnetizables
<b>UNE-EN 10246-1</b>	Ensayos no destructivos de tubos de acero - Parte 1: Ensayo automático electromagnético para la verificación de la estanquidad hidráulica de los tubos de acero ferromagnético soldados y sin soldadura (excepto soldados por arco sumergido)
<b>UNE-EN 10246-2</b>	Ensayos no destructivos de tubos de acero - Parte 2: Ensayo automático por corrientes de Foucault para verificar la estanquidad hidráulica de los tubos de acero austenítico y austeno-ferrítico sin soldadura y soldados (excepto soldados por arco sumergido)
<b>UNE-EN 10246-3</b>	Ensayos no destructivos de tubos de acero - Parte 3: Ensayo automático por corrientes de Foucault para la detección de imperfecciones de los tubos de acero sin soldadura y soldados (excepto por arco sumergido)
<b>UNE-EN 10246-4</b>	Ensayos no destructivos de tubos de acero - Parte 4: Ensayo automático por flujo de fuga mediante palpadores magnéticos sobre toda la circunferencia del tubo para la detección de imperfecciones transversales de los tubos de acero ferromagnético sin soldadura
<b>UNE-EN 10246-5</b>	Ensayos no destructivos de tubos de acero - Parte 5: Ensayo automático por flujo de fuga mediante palpadores magnéticos en toda la circunferencia del tubo para la detección de imperfecciones longitudinales de los tubos de acero ferromagnético sin soldadura y soldados (excepto soldados por arco sumergido)
<b>UNE-EN 10246-14</b>	Ensayos no destructivos de tubos de acero - Parte 14

**Continuación de tabla XVI**

<b>UNE-EN 10246-15</b>	Ensayos no destructivos de tubos de acero - Parte 15: Ensayo automático por ultrasonidos para la detección de imperfecciones de laminado en flejes / bobinas utilizados para la fabricación de tubos de acero soldados
<b>UNE-EN 10246-16</b>	Ensayos no destructivos de tubos de acero - Parte 16: Ensayo automático por ultrasonidos de las zonas adyacentes al cordón de soldadura para la detección de imperfecciones de laminado de tubos de acero soldados
<b>UNE-EN 10246-17</b>	Ensayos no destructivos de tubos de acero - Parte 17: Ensayo por ultrasonidos de los extremos del tubo para la detección de imperfecciones de laminado de tubos de acero soldados y sin soldadura
<b>UNE-EN 10246-18</b>	Ensayos no destructivos de tubos de acero - Parte 18: Ensayo mediante partículas magnetizables de los extremos del tubo para la detección de imperfecciones de laminado de tubos de acero ferromagnético soldados y sin soldadura
<b>UNE-EN 10256</b>	Ensayos no destructivos de tubos de acero. Cualificación y competencia del personal que realiza ensayos no destructivos de los niveles 1 y 2

## 4.5 Cotizaciones de los equipos



Guatemala,  
5 de abril de 2010

Facultad de Ingeniería Mecánica  
Universidad de San Carlos  
GUATEMALA  
Presente

Estimados Ingenieros:

Con un atento saludo nos dirigimos a ustedes esperando que sus labores marchen bien.

Por este medio nos permitimos presentarles la oferta para adquisición del equipo de ultrasonido **UP10000** de **UE SYSTEMS**. Tecnología utilizada como herramienta fundamental en el programa de mantenimiento predictivo en sus instalaciones.

**UESYSTEMS**, líder mundial en tecnología de ultrasonido le ofrece **garantía de 5 años en sus equipos**, asesoría técnica brindada por profesionales certificados e inducción para el correcto uso de su equipo en el momento de la compra.

Con toda compra, se da la inducción necesaria para el buen uso y mejor aprovechamiento del equipo.

Esperando poder servirle.

Atentamente

---

Ing. José Carlos Alvarez  
Gerente Comercial  
[jcalvarez@diatec-ca.com](mailto:jcalvarez@diatec-ca.com)

9a avenida 15-28 zona 10 Oficina #2 Edificio Villalar  
Teléfonos: (502) 2367 3977 al 9 Fax: (502) 2367 3979  
[www.diatec-ca.com](http://www.diatec-ca.com)

1



#### COTIZACIÓN ULTRAPROBE 10,000LRM (10K)

Entregado en sus instalaciones en Guatemala, inducción **INCLUIDA**

El Kit de Inspección Ultrasonico Ultraprobe 10K brinda tecnologia de ultrasonido a un nivel completamente nuevo. Con este sistema, el inspector puede ajustar condiciones de análisis, grabar los sonidos del equipo examinado, almacenar y manipular datos. El UP10000 contiene **grabación de sonido on-board**. Con solo presionar un botón, usted podrá grabar un sonido directamente en el interior del instrumento y asociarlo a una de las 400 mediciones grabadas en el Ultraprobe. **Sensitividad Manual & Ajuste de Frecuencia o el Nuevo y Revolucionario "Control inteligente" elige Modos.**

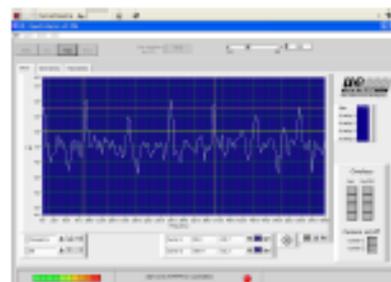
Kit UP10000 Incluye:

- Ultraprobe 10000 cubierto con pantalla digital LCD y LED como luz de fondo
- Módulo de Exploración Tri-Sonic para localización de ultrasonido aerotransportado.
- Punta de Prueba de Goma para Enfoque utilizada para enangostar el campo de recepción y para blindar ultrasonidos ambiente.
- Módulo Estetoscopio (tipo contacto) para monitoreo de ultrasonidos generados internamente
- Batería de repuesto
- Generador de tonos
- Audifonos Industriales de Lujo Aisladores de Ruido para uso con casco
- Módulo de gama extensa LRM para incrementar el rango de detección
- Software de Análisis de Sonidos Spectralyzer
- Software Ultratrend Data Management
- Cable I/O (cable de conexión de 9 pines a 9 pines)
- Compact Flash Card
- Cargador de Bateria
- Cable de Interconexión de Módulo EXC (8 pies)
- Montaje Magnético MMP-8
- Lector de Flash Card para USB (permite la lectura de flash card para PC via puerto USB)

UP 10K ULTRASONIC INSPECTION KIT

US\$ 11,990.00

(ONCE MIL NOVECIENTOS NOVENTA DOLARES AMERICANOS)





**PRECIO CON EL DESCUENTO ESPECIAL PARA LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA: US\$ 9,990.00 (nueve mil novecientos noventa dolares americanos)**

**Términos de Venta:**

- 100% anticipado, con su orden de compra
  
- El tiempo de entrega es de 1 semana después de recibida la orden de compra.

**CON TODA VENTA SE DA LA INDUCCION NECESARIA PARA EL USO DEL EQUIPO.**

➤ **Práctica de Laboratorio**

**ENSAYOS DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS Y TINTAS  
PENETRANTES  
(Práctica No.1)**

Profesor		Pre-Reporte	20%	
Auxiliar		Examen	20%	
Nombre		Reporte	40%	
Hora y día de clase		Conclusiones	20%	
Grupo de Lab.		<b>TOTAL</b>	100%	

**PRE-REPORTE**

1. ¿Para que utilizamos la inspección por líquidos penetrantes y partículas magnéticas?
2. ¿Qué tipos de líquidos penetrantes hay?
3. ¿Qué tipo de partículas magnéticas son las más comunes para ensayos no destructivos?
4. Realizar un resumen (a mano) de 2 hojas sobre inspección superficial y los tipos de ensayos que se pueden utilizar, sus ventajas y limitaciones.

**1. OBJETIVOS**

- Conocer el procedimiento de aplicación de los líquidos penetrantes y las características de los materiales para utilizar partículas magnéticas.

- Valorar el uso de las técnicas de ensayo no destructivo para el mejoramiento de las superficies de los materiales y la disminución de fallas.

## **2. MATERIAL / EQUIPO**

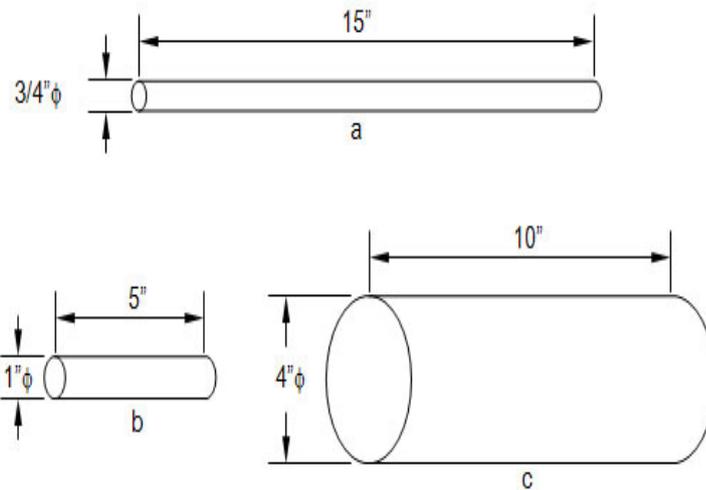
- Oxido de hierro de 0.2 mm color verde
- Una bobina de corriente alterna
- Cepillo de hierro
- Una probeta de 1 pulgada de acero 1018
- Líquido penetrante fluorescente
- Lámpara de luz ultravioleta
- Dos hojas de hierro unidas por soldadura eléctrica y una unida por soldadura oxi-acetileno

## **3. PROCEDIMIENTO**

### **Ensayo por partículas magnéticas:**

- 1) Se inicia con una limpieza manual de la probeta con el cepillo de hierro, en toda su superficie.
- 2) Instalar la bobina de corriente alterna, con una corriente de 700 a 900 amperios por pulgada de diámetro.
  - I. Una barra de  $\frac{3}{4}$ ", 525 a 675 amperios
  - II. Una barra de 1", 700 a 900 amperios
  - III. Una barra de 4", 2,800 a 3,600 amperios

**Figura 17.** Requisitos de corriente para magnetización circular



**Fuente:** [http://www.llogsa.com/nueva\\_web/tutoriales/particulas-magneticas/particulas-magneticas-inicio-tema5\\_1.php](http://www.llogsa.com/nueva_web/tutoriales/particulas-magneticas/particulas-magneticas-inicio-tema5_1.php)

- 3) Baño de la pieza con el óxido de acero.
- 4) Luego de 10 minutos se coloca en la claridad y se determina la discontinuidad de la pieza.

**Ensayo por líquidos penetrantes:**

- 5) Se inicia con una limpieza manual de las piezas unidas por soldadura con el cepillo de hierro, en toda su superficie.
- 6) Baño de la pieza con el líquido penetrante fluorescente.
- 7) Luego de 10 minutos se coloca la lámpara de luz ultravioleta en un lugar oscuro, para determinar los defectos de la pieza.

#### **4. RESULTADOS**

1. Explique el principio de magnetización.
2. ¿Qué tipo de discontinuidades se encontraron con el uso de partículas magnéticas?
3. ¿Qué defectos superficiales se encontraron en las piezas unidas por soldadura eléctrica?
4. ¿Qué defectos superficiales se encontraron en las piezas unidas por soldadura eléctrica?
5. ¿Cuál es el rango de la densidad relativa de los líquidos penetrantes y su punto de inflamación máximo y mínimo?

#### **5. CONCLUSIONES**

## UTILIZACIÓN DEL ULTRASONIDO EN LA INSPECCIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR (Práctica No.2)

Profesor		Pre-Reporte	20%	
Auxiliar		Examen	20%	
Nombre		Reporte	40%	
Hora y día de clase		Conclusiones	20%	
Grupo de Lab.		<b>TOTAL</b>	100%	

### PRE-REPORTE

- ¿Cuáles son las aplicaciones del ultrasonido?
- ¿Qué tipo de variable es la que mide el ultrasonido?
- ¿Qué ventajas y desventajas tiene la inspección por ultrasonido?

Realizar un resumen (a mano) de 2 hojas sobre inspección con ultrasonido y sus aplicaciones en la industria.

### 1. OBJETIVOS

- Aprender a utilizar un equipo de ultrasonido y sus diferentes variables que se pueden determinar en la inspección industrial.
- Comprender la importancia en la disminución del costo en reducción de fallas por medio de la inspección con equipo de ultrasonido.

## **2. MATERIAL / EQUIPO**

- Equipo de Ultrasonido UP10000 de UE SYSTEMS
- Tubería de aire
- Compresor de aire eléctrico de 2 HP
- Lija

## **3. PROCEDIMIENTO**

1. Lijar la parte de la trampa de vapor que se inspeccionara.
2. Encender el equipo de ultrasonido y programarlos, explicación que impartirá el encargado de laboratorio.
3. Conectar el compresor con la tubería de aire.
4. Colocar a una distancia máxima de 400 mm de distancia del área a inspeccionar, tomar tres lecturas y tratar de no mover el equipo.
5. Apuntar el tiempo de cada lectura y tomar un promedio de las lecturas y el tiempo, para obtener el resultado de la inspección.

## **4. RESULTADOS**

### 1. Resultado de la inspección

- Presión Promedio (Psi)=
- Tiempo Promedio=

Llene la siguiente tabla:

Tiempo	Lectura del Ultrasonido (Psi)

- ¿Causas que pueden provocar variabilidad entre las lecturas?
- ¿Qué es una onda de pulso eléctrico?
- Realizar la gráfica Psi vs tiempo de las lecturas tomadas.
- ¿Cuáles son los criterios para la selección del área a inspeccionar?

## 5. DESCRIPCIÓN

Foto	Descripción del Proceso

## 6. CONCLUSIONES

## ENSAYO DE RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL (Práctica No.3)

Profesor		Pre-Reporte	20%	
Auxiliar		Examen	20%	
Nombre		Reporte	40%	
Hora y día de clase		Conclusiones	20%	
Grupo de Lab.		<b>TOTAL</b>	100%	

### PRE-REPORTE

¿Qué es la radiografía industrial?

¿Qué inspecciona la radiografía industrial y que parte del material?

¿Qué ventajas y desventajas tiene la inspección por radiografía industrial?

Realizar un resumen (a mano) de 2 hojas sobre inspección con Rayos "X", sus aplicaciones en la industria y la protección del analista.

### 1. OBJETIVOS

- Conocer el procedimiento de inspección por medio de la radiografía industrial y la importancia del uso especial del equipo.
- Conocer la protección que debe utilizar el analista durante el ensayo y las variables que influyen en la toma de datos erróneos.
- Aprender a manejar el equipo, para las diferentes prácticas de laboratorio y la obtención de las películas radiográficas.

## **2. MATERIAL / EQUIPO**

- Equipo de Rayos “X” (Y.MG103 Universal)
- Eje de 2“ de diámetro y 10” de largo de acero 1018
- Cuarto oscuro para proceso de revelado
- Protección (Traje de plomo, pared de acero o de concreto)

## **3. PROCEDIMIENTO**

6. Explicación del proceso impartida por el encargado del laboratorio y normas de seguridad.
7. Colocación del equipo de Rayos “X”
8. Toma de la película o fotografía del equipo.
9. Revelado de la película en cuarto oscuro.
10. Determinación de fisuras internas del eje.

## **4. RESULTADOS**

1. ¿Consecuencias de no utilizar protección durante la inspección por rayos “x”?
2. ¿Qué daños se encontraron en el eje?
3. ¿Cuáles son las limitaciones de la radiografía industrial?

## 5. DESCRIPCIÓN

Foto	Descripción del Proceso

## 6. CONCLUSIONES



## 5. FUNDICIÓN DE METALES

### 5.1 Etapas del proceso de fundición de los metales

El metal que llega a los hornos de fusión se vierte en el molde con calderos manejados a mano, con horquillas o con grúa. El embudo de colada debe mantenerse siempre lleno durante el proceso de colada porque, de lo contrario, se podrían arrastrar partículas de escorias o aire por la formación de remolinos. Se da por terminada la colada cuando queda lleno el alimentador. Cuando se ha enfriado lo suficiente, se destruye el molde. Se saca la pieza y se limpia.

➤ **Proceso de solidificación:** la pieza fundida, al enfriarse, se hace primero viscosa, luego plástica y por último sólida. Hay que diferenciar pues tres fases:

**1. Fase de contracción fluida:** se aprecia por el descenso del nivel de líquido en el alimentador.

**2. Contracción de solidificación:** se produce durante la solidificación y se llega a formar un embudo. Este embudo no debe quedar en la pieza, sino en el alimentador para impedir que se produzcan cavidades de contracción.

**3. Contracción lineal:** es la última fase de la solidificación hasta alcanzar la temperatura ambiente. Esta contracción se tiene en cuenta en el modelo utilizando la escala de contracción. Las cuantías de contracción longitudinal son del 2% para el acero colado, del 1% para la fundición gris, del 1.25% para el aluminio y del 1.5% para la fundición de aleaciones de Cu Zn Sn, aproximadamente.

➤ **Defectos en la fundición:**

**1. Inclusión de escorias:** las escorias y los óxidos metálicos no se han retenido al efectuar la colada. El embudo de colada no se ha mantenido lleno durante el vertido.

**2. Poros en la Estructura de la fundición:** el material fundido no se ha solidificado uniformemente. La solidificación se produce de fuera hacia adentro. En los lugares más gruesos de la pieza se forma así un hueco al que se denomina poro o cavidad. Para evitarlo, conviene que las piezas fundidas tengan un espesor uniforme de pared (principio de construcción).

**3. Burbujas en la estructura de la fundición:** la arena de moldear húmeda desprende hidrógeno y oxígeno a la temperatura de colada y estos gases penetran en la estructura del material.

**4. Grietas en la pieza de fundición:** los cambios de sección se han hecho constructivamente demasiado corto por lo que la solidificación de las zonas gruesas del material se efectúa con demasiada lentitud. Para evitar grietas y poros, en los puntos de mayor sección se alojan en el molde unos hierros de enfriamiento.

**5. Desigualdad de espesor de las paredes:** la pieza tiene espesores desiguales en dos zonas enfrentadas. El macho se ha desplazado durante la colada.

## **5.2 Análisis de arenas para fundición**

La arena es el material básico que emplea el moldeador para confeccionar sus moldes, para los diversos tipos de metales y aleaciones que usualmente se producen en los talleres y fabricas de producción.

La planta centralizadora de arena ubicada en un taller o fabrica suministra arenas ya preparadas mediante un sistema de cintas transportadoras a las distintas secciones del moldeo, a través de los depósitos y tolvas de almacenaje, situados en mayor altura y que reciben continuamente la arena usada para acondicionarla nuevamente.

La arena nueva se mezcla con la reutilizada para sustituir las pérdidas de arena que se tienen durante el proceso y de esta manera mantener las propiedades de la misma durante el proceso de moldeo, para la dureza de la arena se le practican pruebas en el durómetro así como pruebas para el análisis de la humedad de la misma.

### 5.2.1 Propiedades de la arena para fundición

La arena provee las cualidades refractarias. La adherencia está provista por la arcilla húmeda y la permeabilidad depende las partículas de arena y de contenido de arcillo. El aplastamiento es el resultado de la presencia de cereales y otros materiales orgánicos que se queman al ser expuestos al metal caliente reduciéndose la resistencia de la arena.

La arena moldeo contiene:

- ✓ 8 a 14% de arcilla
- ✓ 4 a 8 % de humedad

Las fundiciones modernas usan las arenas llamadas sintéticas. Se fabrican a partir de sílice limpia (dióxido de silicio), zirconio o arena de olivida y arcillas controladas como bentonita, kaolinita o ilita.

Estas son mas uniformes que las naturales y más permeables y refractarias, pero si no son estrechamente controladas, el moldeo manual es más difícil. Para fundiciones pequeñas es conveniente el uso de arena de grano fino. Para fundiciones mas grandes es casi imprescindible usar una arena de grano más grueso para mayor permeabilidad. Para lograr una buena terminación superficial se usa un material especial para superficie aplicado al modelo antes de agregar arena común de moldeo, este puede ser grafito o una lechada de arcilla. A menudo se tamiza sobre el modelo una arena de superficie especial, antes de colocar la arena común.

Para permitir la separación de las distintas secciones del molde y para poder quitar el modelo sin que se adhiera la arena de moldeo, se usa un material separador. Se rocía con el modelo antes de colocar cualquier tipo de arena en el recipiente. Un adecuado material separador son las cascaras de nuez molida, espolvoreada sobre la superficie.

Cada grano de arena debe estar recubierto de arcilla para proveer la máxima adhesividad; y se agrega agua para obtener la humedad necesaria.

Los factores principales a controlar son:

- |                   |                      |
|-------------------|----------------------|
| • Tamaño de grano | Dureza del molde     |
| • Humedad         | Contenido de arcilla |
| • Permeabilidad   | Resistencia          |

### 5.2.2 Clasificación de la arena para fundición

#### Distintos tipos de arenas para moldeo:

- **Arena verde:** es una arena húmeda, es decir, que se ha secado.
- **Arena seca:** es aquella a la que se le ha eliminado toda la humedad antes de efectuar la colada, mediante el secado de enfurtas.
- **Arenas de revestimiento o de contacto:** es la que se apisona contra la cara del moldeo y una vez extraído este, formará la capa interna del molde.

➤ **Arena de relleno:** procede de los moldes ya colados y vuelve nuevamente a utilizarse después de preparada para rellenar el molde durante el moldeo.

**Otros tipos de arena son:**

- ✓ Arena negra
- ✓ Arena sintética
- ✓ Arena naturales
- ✓ Arena para machos
- ✓ Arena al aceite.

### **5.3 Fusión de aleaciones no ferrosas**

Los metales para fundición no ferrosos incluyen aleaciones de aluminio, magnesio, cobre, estaño, zinc, níquel y titanio. Las aleaciones de aluminio son en general las más manejables. El punto de fusión del aluminio puro es 1220 °F (600 °C). Por consiguiente, las temperaturas de vaciado para las aleaciones de aluminio son bajas comparadas con las de las fundiciones de hierro y acero. Las propiedades que hacen atractivas a estas aleaciones para la fundición son: su peso ligero, su amplio rango de propiedades de resistencia que se pueden obtener a través de tratamientos térmicos y su facilidad de maquinado. Las aleaciones de magnesio son las más ligeras de todos los metales de fundición. Otras propiedades incluyen resistencia a la corrosión y altas relaciones de resistencia y tenacidad al peso.

Las aleaciones de cobre incluyen al bronce, latón y bronce al aluminio. Las propiedades que hacen atractivas a estas aleaciones son su resistencia a la corrosión, su apariencia atractiva y sus buenas cualidades antifricción. El alto costo del cobre es una limitación en el uso de sus aleaciones. Sus aplicaciones comprenden accesorios para tubería, aletas de propulsores marinos, componentes de bombas y joyería ornamental.

El estaño tiene el punto de fusión más bajo de los metales de fundición. Las aleaciones a base de estaño son generalmente fáciles de fundir. Tienen buena resistencia a la corrosión, pero pobre resistencia mecánica, lo cual limita sus aplicaciones a olla de peltre y productos similares que no requieren alta resistencia. Las aleaciones de zinc se usan comúnmente para fundición en dados. El zinc tiene un punto de fusión bajo y buena fluidez, propiedades que lo hacen altamente fundible. Su mayor debilidad es su baja resistencia a la termo fluencia, por tanto, sus fundiciones no pueden sujetarse prolongadamente a altos esfuerzos.

Las aleaciones de níquel tienen buena resistencia en caliente y resistencia a la corrosión, propiedades que son adecuadas para aplicaciones a altas temperaturas, como motores de propulsión a chorro, componentes de cohetes, escudos contra el calor y partes similares. Las aleaciones de níquel también tienen un punto de fusión alto y no son fáciles de fundir. Las aleaciones de titanio son aleaciones resistentes a la corrosión con una alta relación de resistencia-peso. Sin embargo, el titanio tiene un alto punto de fusión, baja fluidez y es muy propenso a oxidarse a elevadas temperaturas. Estas propiedades hacen que el titanio y sus aleaciones sean difíciles de fundir.

## 5.4 Hornos para fundición

Pueden clasificarse convenientemente en cuatro grupos principales, según el grado de contacto que tenga lugar entre la carga y combustible o sus productos de combustibles.

- Hornos en los cuales la carga se encuentra en contacto íntimo con el combustible y los productos de combustión. El horno más importante en este grupo es el de cubilote.
- Hornos en los que la carga está aislada del combustible pero en contacto con los productos de la combustión. Este tipo de hornos es el horno hogar abierto para la fabricación de acero.
- Hornos en que la carga se encuentra aislada tanto del combustible como de los productos de la combustión. El principal es el horno que se emplea un crisol que puede calentarse ya sea por coque, gas o petróleo.
- Hornos eléctricos. Pueden ser de tipo de acero o de inducción.

### **5.4.1 Clasificación**

Los hornos se pueden dividir en dos grandes clases: los a calentamiento directo, y los a calentamiento indirecto. En los primero el material por calentar queda en contacto o con el combustible, o con los productos de la combustión; en los otros eso no sucede porque el material se halla encerrado en retortas, o en recipientes cerrados, quedando así fuera del contacto con los productos de la combustión.

Los hornos a calentamiento directo, pueden ser con o sin hogar separado. En el primer caso el material por calentar queda en contacto únicamente con los productos de la combustión, en una cámara llamada laboratorio; en el segundo caso, el combustible se halla en mezcla con el material por calentar y con los productos de la combustión.

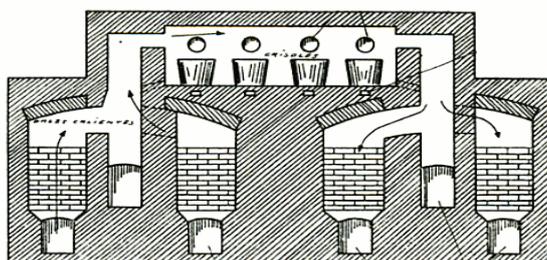
El aire necesario para la combustión en los hornos puede entrar en ellos por tiraje natural, o sea, por la formación de una corriente gaseosa debida a la diferencia de densidad entre la del aire frío exterior y la de los productos calientes de la combustión; o también por tiraje forzado, es decir, por inyección de aire bajo presión.

Los principales tipos de hornos empleados en la industria son los siguientes: hornos de cámara, hornos de canal, hornos de reverberos, hornos de crisoles, hornos de cuba, y hornos rotatorios.

**Los hornos de cámara** están constituidos por una o más cámaras de material refractario, que se calienta con el gas producido por un generador, haciendo llegar juntos el gas y el aire necesario para la combustión. El material por calentar puede ponerse o en el suelo del horno, y así viene en contacto directo con los productos calientes de la combustión; o puede ponerse en crisoles de tierra refractaria o de grafito, que se disponen en el piso.

En estos hornos, que son a combustible gaseoso, se producen normalmente temperaturas muy elevadas, y es por eso que son a recuperación del calor, o sea, ellos tienen por debajo del piso del laboratorio cámaras por las cuales se hacen pasar y detener los productos de la combustión antes de que lleguen a la chimenea para ser eliminados. De este modo tales cámaras se calientan, y cuando están bien calientes se hace pasar a través de ellas el aire que debe servir para la combustión. Se obtiene así el doble efecto de producir temperaturas más elevadas, y de realizar una economía en el consumo de combustible.

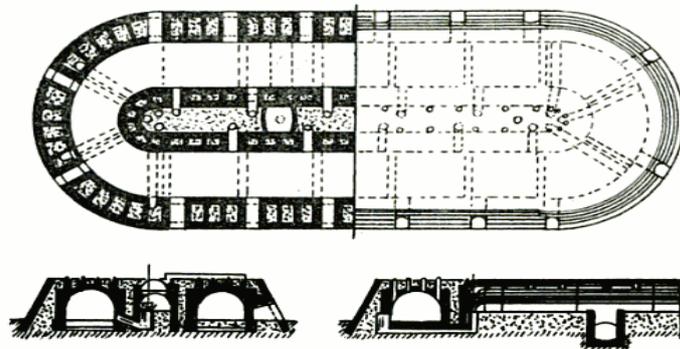
**Figura 18:** Horno de cámara



**Fuente:** Introducción a la química industrial: fundamentos químicos y tecnológicos, Argeo Angiolani. Pág. 412

**Los hornos de canal:** uno de los cuales es el horno Hoffman que se usa en la industria cerámica de los ladrillos y tejas para construcciones. En estos hornos la combustión se hace producir en una sola cámara a la vez, quemando combustible sólido; los productos de la combustión se hacen circular en todas las otras cámaras, y así realiza una recuperación de su calor sensible.

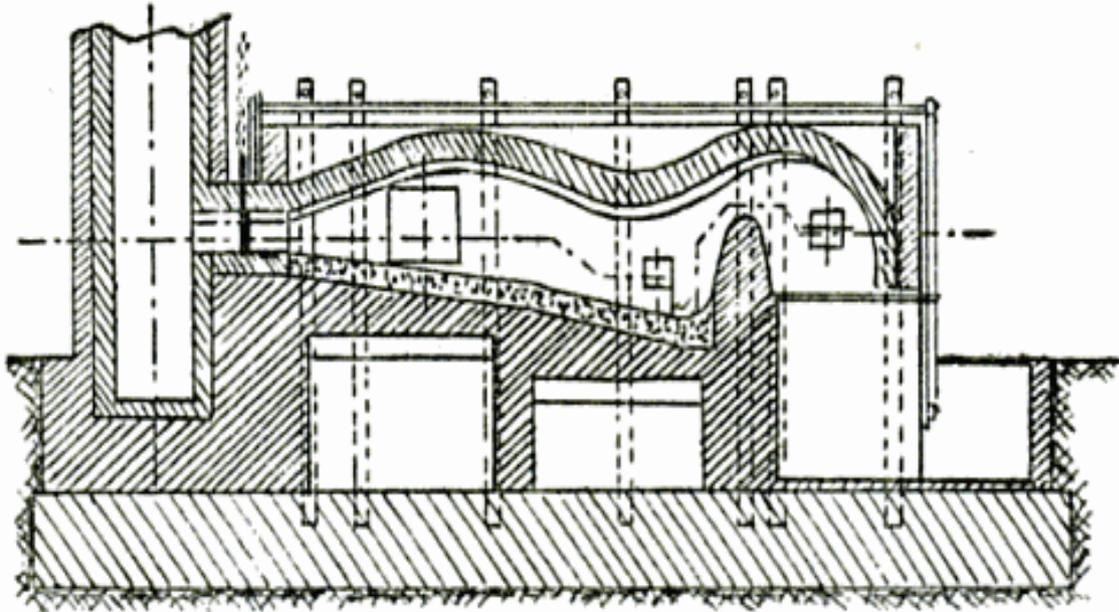
**Figura 19:** Tejas para hornos de canal



**Fuente:** Introducción a la química industrial: fundamentos químicos y tecnológicos, Argeo Angiolani. Pág. 413

**Los hornos de reverbero:** tienen el hogar cerca del laboratorio y separado por una pared de material refractario; el laboratorio está constituido por una cámara con la parte superior en forma de bóveda alargada, y con el piso ligeramente inclinado sobre la horizontal: en éste se coloca la substancia por calentar. Estos hornos se emplean mucho en la industria metalúrgica.

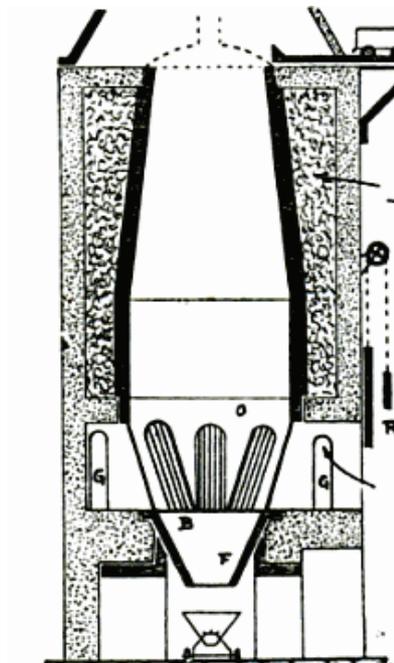
**Figura 20:** Horno de reverbero



**Fuente:** Introducción a la química industrial: fundamentos químicos y tecnológicos, Argeo Angiolani. Pág. 414

**Los hornos de cuba:** son de forma cilíndrica, o ligeramente troco-cónica, en los cuales se carga el material por calentar junto al combustible en capas alternadas. En los que se emplean en industria metalúrgica (cubilote) el aire se insulfa bajo presión.

**Figura 21** Horno de cuba (cubilote)

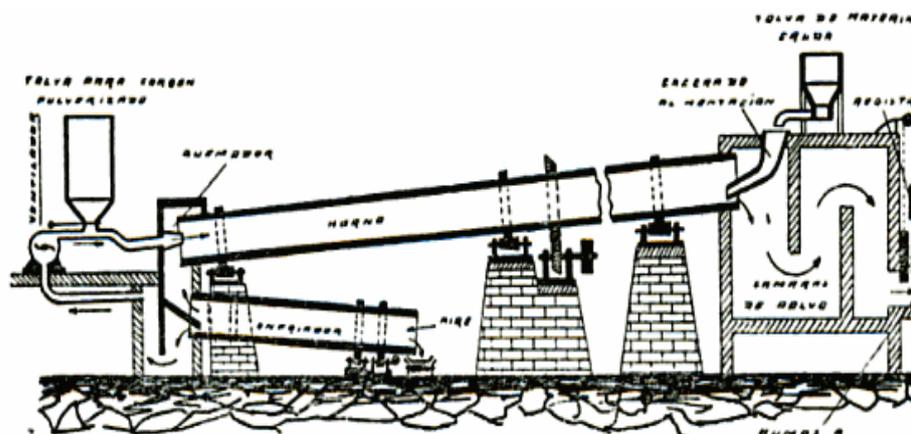


**Fuente:** Introducción a la química industrial: fundamentos químicos y tecnológicos, Argeo Angiolani. Pág. 415

**Los hornos rotatorios:** están constituidos por un cilindro de planchas de hierro, colocados en posición horizontal o ligeramente inclinada, capaces de girar lentamente alrededor de su propio eje. El cilindro constituye el laboratorio del horno, y está contiguo al hogar que es fijo, en el cual se quema combustible sólido pulverizado que se inyecta mezclado con aire bajo presión. Las llamas y los gases de la combustión penetran en el cilindro que está girando, en el interior del cual el cilindro que está girando, en el interior del cual se pone la substancia por calentar.

Estos hornos se usan especialmente en la industria de los cementos, y en este caso ellos tienen en su parte terminal otro cilindro corto en que cae el producto obtenido, y que comunica con el aire exterior. De este modo resulta que el aire para la combustión llega caliente en el horno y esto permite obtener una temperatura más elevada, con menor gasto de combustible. Al tipo de horno a calentamiento indirecto pertenecen los hornos de retortas que se emplean para la destilación seca de los combustibles sólidos, de los huesos, etc.

**Figura 22:** Horno rotatorio



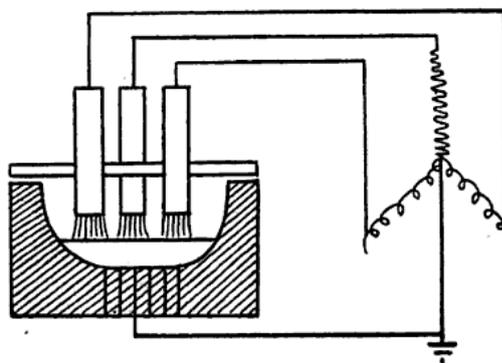
**Fuente:** Introducción a la química industrial: fundamentos químicos y tecnológicos, Argeo Angiolani. Pág. 416

**Los hornos eléctricos:** son aparatos en los cuales el calentamiento se obtiene por transformación de la energía eléctrica en calor. Esta transformación se puede obtener: o haciendo producir un arco voltaico entre dos o más electrodos de carbono o de grafito mantenidos a distancia a través de un cuerpo que presente una resistencia adecuada.

Se distinguen por lo tanto en hornos a arco y en hornos a resistencia. Como el arco voltaico da las más altas temperaturas obtenibles industrialmente ( $3,000-3,500^{\circ}$ ), los hornos eléctricos que se emplean cuando se necesitan temperaturas muy elevadas son aquellos a arco, siendo difícil obtener de otra manera tales temperaturas. En estos hornos el arco voltaico puede producirse de manera que la corriente eléctrica no pase a través del material que se va a calentar: en este caso se llama a arco indirecto; o bien puede ser producido haciendo pasar la corriente se llama a arco indirecto; o bien puede ser producido haciendo pasar la corriente a través del material por calentar: en este caso se llaman a arco directo, y son los más difundidos. El número de electrodos puede ser de un solo, o dos, o tres y aún más; estos pueden estar dispuestos vertical u horizontalmente.

El arco eléctrico puede formarse entre electrodo y electrodo, o bien puede formarse, entre electrodos y el piso del horno, que en este caso se llama piso conductor los hornos eléctricos pueden ser abiertos o cerrados. Los electrodos son de carbón o de grafito, de forma cilíndrica y se preparan reduciendo a pequeños gránulos estos materiales.

**Figura23:** Horno eléctrico



**Fuente:** Introducción a la química industrial: fundamentos químicos y tecnológicos, Argeo Angiolani. Pág. 417

### 5.4.2 Características

**Hornos de cubilote:** los cubilotes son hornos cilíndricos verticales compuestos de una envoltura de chapa de acero dulce de 5 a 10mm. De espesor, con un revestimiento interior de mampostería refractaria de unos 250mm. De espesor. El horno descansa sobre cuatro columnas metálicas denominadas pies de sostén del cubilote. El fondo de los cubilotes modernos lleva que se abren después de las coladas, para vaciar todas las escorias acumuladas allí.

En el frente y a nivel del fondo llevan los cubilotes un agujero denominado piqueta de colada, para la extracción del metal fundido. A este agujero va adosado un canal de chapa con revestimiento refractario, que conduce el metal en estado líquido a las cucharas de colada o al ante-crisol.

En la parte posterior del horno hay otro agujero para la extracción de las escorias, por lo que se denomina piqueta de escoria o escorial. La piqueta de escorias esta en un plano más alto que la piqueta de colada. El volumen del metal fundido que puede contener el cubilote es el comprendido entre el plano horizontal que pasa por la piqueta de escorias y el fondo del cubilote, a cuyo nivel, como hemos dicho antes, esta la piqueta de colada. Esta parte del cubilote se denomina crisol y su volumen está calculado para que pueda contener, como máximo, dos cargas metálicas fundidas.

A unos 200 mm. Por encima del plano de la piqueta de escorias, se encuentra el plano de toberas de entrada de aire, espaciadas unas de otras regularmente en la circunferencia del cubilote y en la cantidad aproximada de una por cada 15 cm del diámetro del horno. En general, el número de toberas oscila entre 4 y 8.

Los cubilotes modernos llevan doble hilera de toberas con una caja especial de registro que permite enviar a una u otra hilera el aire. Así cuando se obtura alguna tobera, se envía el aire a las toberas de la otra hilera. Al quedarse sin viento la tobera se funde la escoria que la tapa y queda desobturada automáticamente.

Inmediatamente por encima del plano de toberas está situada una *caja* de viento que rodea el cubilote y que recibe y distribuye a las toberas el aire necesario para la combustión, que es suministrado por un ventilador a una presión de 300 mm. A 1000 mm. columna de agua.

**Refrigeración por agua.** los cubilotes modernos, que han de funcionar ininterrumpidamente largos periodos de tiempo, llevan camisas de agua para refrigeración de la zona de fusión; esta refrigeración exige un gasto de combustible algo mayor pero queda compensado con creces con el ahorro de refractario y gastos de reparación.

**Carga mecánica.** los cubilotes pequeños se cargan a mano, pero los grandes están provistos de montacargas verticales o inclinados, con descarga automática de las vagonetas en el tragante.

**HORNOS DE REVERBERO:** los hornos de reverbero se utilizan para la fundición de piezas de grandes dimensiones, tanto de metales férreos como de metales no férreos, como cobre latón, bronce y aluminio. Los hornos de reverbero son de poca altura y gran longitud. En uno de los extremos se encuentra el hogar donde se quema el combustible, y en el extremo opuesto la chimenea. Las llamas y productos de la combustión atraviesan el horno y son dirigidos, por la bóveda de forma adecuada hacia la solera del horno, donde está situada la carga del metal que se desea fundir. Esta carga se

calienta, no solo por su contacto con las llamas y gases calientes sino también por el calor de radiación de la bóveda del horno de reverbero.

Aproximadamente, la superficie de la solera es unas tres veces mayor que la de la parrilla y sus dimensiones oscilan entre un ancho de 150 a 300cm. y una longitud de 450 a 1500 cm. La capacidad de los hornos de reverbero es muy variable y oscila entre los 45 kg a los 1000 kg que tienen los empleados para la fusión de metales no férreos, hasta los 80 Tm. Que tienen los mayores empleados para la fusión de la fundición de hierro.

**HORNOS ROTATIVOS:** los hornos rotativos están formados por una envoltura cilíndrica de acero, de eje sensiblemente horizontal, que termina con dos troncos de cono, uno en cada extremo. En uno de los extremos está situado el quemador y en el otro la salida de los gases quemados, que generalmente pasan por un sistema de recuperación de calor para precalentar el aire de soplado antes de ser evacuados por la chimenea. Todo el interior del horno está revestido con un material refractario. El combustible puede ser gasoil o carbón pulverizado.

La capacidad de los hornos rotativos para la fusión de los metales varía ordinariamente entre los 50 kg y los 5 Tm. Aunque se han llegado a construir hornos para la fabricación del acero de hasta 100 Tm. Los hornos pequeños se hacen girar, y los hornos grandes mecánicamente, también se construyen hornos oscilantes que no llegan a girar, sino solamente oscilar de un lado a otro los hornos rotativos se emplean para fundir toda clase de metales y aleaciones, como cobre, bronce, latón, aluminio, fundiciones, maleables, aceros, etc.

**HORNOS ELÉCTRICOS DE ARCO:** los hornos eléctricos de arco están formados por una cuba de chapa de acero revestida de material refractario, provista de electrodos de grafito o de carbón amorfo. Los electrodos de carbón amorfo se forman en el mismo horno, llenando las camisas que llevan porta-electrodos de una mezcla formada por antracita, coque metalúrgico, coque de petróleo y grafito amasados con alquitrán.

Se emplean tres sistemas para producir el arco:

- El arco no pasa por el baño, sino que salta entre los electrodos (horno Stassano). Este es el tipo más antiguo y apenas se emplea. El único horno de este tipo que aun se utiliza es el basculante, cuyo balanceo reparte perfectamente el calor acumulado por el refractario, ya que toda la superficie de este es bañada por el caldo al oscilar el horno. Estos hornos son monofásicos. Su capacidad oscila entre 25 y 250 kg., y se emplean para fundir hierro y metales no férricos, como cobre, latones e incluso níquel. El tiempo de la operación dura de 30 a 60 minutos. En los hornos más modernos el balanceo es producido automáticamente por un motor, al que conmutadores de fin de carrera invierten en sentido de su marcha y producen el balanceo característico.
- El arco se cierra entre los electrodos y el baño, a través del cual pasa corriente (horno girod). Estos hornos tienen el inconveniente de que la solera debe ser conductora, generalmente construida con ladrillo de magnesita, y resulta frágil, por lo que han caído en desuso.

- El arco salta entre los electrodos por intermedio del baño (Horno Heroult). Son los hornos más empleados, y aunque se construyen monofásicos, generalmente son trifásicos. Con los tres electrodos verticales dispuestos en los vértices de un triángulo equilátero. La cuba es cilíndrica, revestida con un material ácido o básico, que reposa sobre ladrillos sílico-aluminosos ordinarios. La bóveda esta revestida de ladrillos de sílice, que resisten temperaturas de hasta 1600°C, y es desplazable para facilitar la carga.

**HORNOS ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN:** en los hornos eléctricos de inducción, el calor se genera por corrientes inducidas por una corriente alterna. Se distinguen tres clases de hornos de inducción:

### **5.5 Fusión de aleaciones ferrosas**

Las aleaciones ferrosas tienen en su composición a los elementos hierro y carbono, siendo el hierro el elemento principal o en mayor proporción. El contenido de hierro de estas aleaciones varía aproximadamente entre 60 y 98% en peso.

Estas aleaciones se clasifican en aceros y fundiciones dependiendo del contenido de carbono. Los aceros son las aleaciones que tienen un contenido de carbono menor que 2.14% en peso, mientras que las fundiciones son aquellas que tienen entre 2.14% y 4.5% en peso de carbono.

Cuando un material Fe-C tiene un contenido de carbono menor que 0.05% en peso, usualmente se considera hierro puro. Por otra parte, las aleaciones que tienen un contenido de carbono mayor que 4.5% en peso no tiene generalmente interés comercial.

## **5.6 Implementación de procesos de colada no convencional**

La colada o vaciado es uno de los procesos más antiguos que se conocen para trabajar los metales, es el proceso que da forma a un objeto al entrar material líquido en una cavidad formada en un bloque de arena aglomerada u otro material que se llama molde y dejar que se solidifique el líquido.

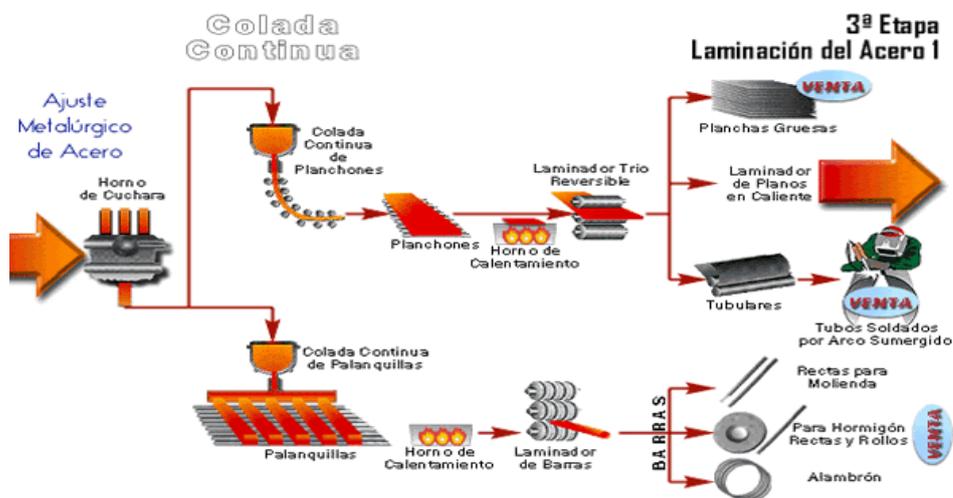
En casi todos los hogares y oficinas hay numerosos objetos hechos por colada o moldeo. El automóvil normal emplea una gran variedad de piezas de diferentes materiales, hechas con diversos procedimientos de colado o vaciado.

Colada no convencional o continua es un procedimiento con el que se producen barras que avanzan y se solidifican a medida que se va vertiendo el metal líquido en una lingotera sin fondo, que se alimenta indefinidamente. Con este proceso se pueden formar, directamente del acero líquido, secciones semi-acabadas sin tener que pasar por la fase de lingote y las etapas de recalentamiento y de laminación de desbaste.

En una lingotera abierta por ambos extremos y enérgicamente refrigerada, se forma una capa sólida en la vena de la colada que se cuela por su interior.

Se hace descender la capa sólida llena de metal líquido que se desprende de la lingotera por contracción al enfriarse, para hacer progresar en el aire la solidificación a la totalidad de la barra.

**Figura 24:** Proceso de colada no convencional o continua



Fuente: <http://www.utp.edu.co/~publio17/coladacon.htm>

### 5.6.1 Características del proceso de colada no convencional

**LINGOTERAS:** son hechas de placas de cobre ensambladas con un espesor de 6 a 7 mm, con envoltura de placas de acero para perfiles grandes y medios, y de tubos de cobre de espesor de 6 a 12 mm, con camisa externa que forma el conducto para circulación del agua, estos para perfiles pequeños. Las lingoteras fijas tienen de 1500 a 2500 mm de longitud y las lingoteras oscilantes tienen de 600 a 800 mm, estas son las más usadas.

El agua que realiza la refrigeración absorbe 1/3 del calor. Sobre el nivel del metal en la lingotera o a través de una ranura en la parte superior se lubrica el paso de la barra por la lingotera con aceite de colza o con cera de parafina.

**PERMITE MAYORES VELOCIDADES DE COLADA:** la lingotera desciende a una velocidad ligeramente superior a la de la barra, produciéndose el "deslingotado negativo". Las carreras de la lingotera están entre 10 y 60 mm, según la sección.

**ENFRIAMIENTO SECUNDARIO:** en la sección de enfriamiento la barra se solidifica totalmente, en esta sección hay una batería de boquillas que rocían con agua pulverizada la barra y grupos de rodillos guía y rodillos soportes que la conducen. El enfriamiento debe ser uniforme y el mínimo indispensable.

**VELOCIDAD DE EXTRACCIÓN Y CAPACIDAD DE COLADA:** se superan los 12 m/min para secciones pequeñas. La duración de la colada en la cuchara se limita a 45 minutos con vaciado de fondo y a 75 minutos con inclinación de la cuchara.

### **5.6.2 Ventajas del proceso de colada no convencional**

No hay rechufe porque el hueco que se produce a causa de la contracción se llena inmediatamente.

Se reduce la importancia de segregación transversal y desaparece la longitudinal, pues las secciones de la barra son relativamente pequeñas.

La colada continua es más rápida y sencilla que la colada en lingoteras, se disminuye por eso su costo de operación, se suprimen los hornos de fosa de precalentamiento de los lingotes y los trenes desbastadores.

### **5.6.3 Desventajas del proceso de colada no convencional**

#### **Colada continua horizontal**

- ✓ Producción discontinua
- ✓ Alto coste de inversión
- ✓ Alto coste de producción

#### **Colada continua vertical**

- ✓ Influencia de la gravedad

➤ **Práctica de Laboratorio**

**VACIADO EN MOLDES DE ARENA  
(Práctica No.1)**

Profesor		Pre-Reporte	20%	
Auxiliar		Examen	20%	
Nombre		Reporte	40%	
Hora y día de clase		Conclusiones	20%	
Grupo de Lab.		<b>TOTAL</b>	100%	

**PRE-REPORTE**

Un resumen (a mano, mínimo 2 hojas) sobre los factores que pueden afectar el acabado de la pieza y el proceso posterior que se le da a la pieza para su acabado superficial.

¿Cuál debe de ser el aumento del molde, para evitar problemas dimensionales con la contracción de la pieza en el enfriado?

**1. OBJETIVOS**

- Conocer las etapas y operaciones básicas del proceso de vaciado en molde de arena.
  
- Aprender a elaborar moldes de arena para piezas de diferentes geometrías y dimensiones.

## **2. MATERIAL / EQUIPO**

- Caja de metal
- Arena de moldeo
- Molde de madera de la pieza
- Piezas metálicas para fundir
- Horno eléctrico para fundición de metales
- Tabla de madera
- Un apisonador
- Tubos de PVC
- Ropa de seguridad

## **3. PROCEDIMIENTO**

1. Colocar una parte de la caja sobre una tabla e introducir la mitad del molde de madera de la pieza (la que tiene los agujeros para unir con la otra mitad) y cubrirlo de arena.
2. Utilizar el apisonador para apelmazar la arena y llenar completamente la caja.
3. Voltar la mitad de la caja de arena que hemos llenado, luego colocar la otra mitad del molde de arena uniéndolo con el que se encuentra en la caja y colocar dos tubos de PVC, que servirán como respiraderos.
4. Llenar la otra mitad del molde de arena y apelmazar la arena con el apisonador.

5. Cuidadosamente separar las dos partes de la caja de arena y luego retirar las dos partes del molde de madera, y los tubos de PVC, quedando solamente el espacio del molde marcado en la arena.
6. Unir de nuevo las dos partes de la caja de arena.
7. El encargado de laboratorio se encargara de explicar a los estudiantes sobre la utilización del horno y la ropa de seguridad que deben utilizar.
8. Fundir el metal y luego sacarlo y verter el caldo en cada uno de los moldes.
9. Esperar durante 4 horas para la solidificación y abrir las cajas de arena y retirar la pieza.
10. Utilizar el torno, el esmeril o una lima para el acabado superficial de la pieza.

#### **4. RESULTADOS**

1. ¿Cuánta Humedad debe de tener la arena para realizar un buen moldeo?
2. ¿Qué función tiene los tubos de PVC colocados dentro de la caja de arena?
3. ¿Cuál es la temperatura a la que el material fue fundido?
4. ¿Cuánto tiempo fue necesario para fundir el metal?

## 5. DESCRIPCIÓN

Foto	Descripción del Proceso

## 6. CONCLUSIONES

### MOLDEO A LA CERA PERDIDA (Práctica No.2)

Profesor		Pre-Reporte	20%	
Auxiliar		Examen	20%	
Nombre		Reporte	40%	
Hora y día de clase		Conclusiones	20%	
Grupo de Lab.		<b>TOTAL</b>	100%	

### PRE-REPORTE

- ¿Qué es el moldeo por cera perdida?
- ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de este procedimiento?
- ¿Para qué tipo de piezas se puede utilizar este tipo de moldeo?

### 1. OBJETIVOS

- Conocer el procedimiento del moldeo a la cera perdida, y la diferencia con otros métodos de moldeo.

- Introducir al estudiante en la utilización de instrumentos caseros para llevar a cabo la práctica de laboratorio.

## **2. MATERIAL / EQUIPO**

- Yeso
- Pieza que se desea moldear
- látex
- Mechero
- Horno eléctrico para fundición
- Pieza de metal para fundir
- Ropa de seguridad para la fundición
- Una cuchilla
- Cera de candela

## **3. PROCEDIMIENTO**

1. En una estufa por colocar un recipiente con agua y dentro otro recipiente con látex, colocarlo con la llama más baja y esperar a que se derrita.
2. En un recipiente de vidrio echar el látex en líquido e introducir la pieza que se desea moldear (puede ser de plástico o de cerámica).
3. Espera a que el látex vuelva a su estado sólido y retirarlo del recipiente de vidrio.
4. Realizar un corte con una cuchilla dividiendo en dos el molde de látex y retirando la pieza.

5. Luego introducir de nuevo el molde de látex dentro del recipiente de vidrio y con el mismo procedimiento para deshacer, el látex deshace la cera de candela.
6. Cuando la cera está hecha liquido se echa en el molde de látex y se esperan 30 minutos para que solidifique.
7. Se abre de nuevo el molde de látex y se retira la pieza de cera.
8. Se deshace el yeso con un poco de agua (calculando) y se introduce en un recipiente plástico, con el yeso en forma de masa se mete cuidadosamente el molde de cera de la pieza.
9. Se rompe el recipiente plástico y la cera endurecida se coloca en un mechero y se deshace la parte de cera.
10. El material metálico se funde en el horno y con la ropa de seguridad se verte el liquido metálico en el molde de yeso, se espera la solidificación, para luego quebrar el molde de yeso y se tiene la pieza con un buen acabado superficial.

#### **4. RESULTADOS**

1. Observaciones realizadas durante el proceso de elaboración de moldes.
2. Tiempo necesario para derretir el látex y temperatura utilizada.
3. Tiempo necesario para derretir la cera y temperatura utilizada.
4. Investigación sobre tipos de mechero y temperaturas de operación.
5. Investigación sobre las características del yeso y sus propiedades refractarias.

## 5. DESCRIPCIÓN

Foto	Descripción del Proceso

## 6. CONCLUSIONES



## **6. METALOGRAFÍA**

### **6.1 Metalografía**

La metalografía es la disciplina que estudia microscópicamente las características estructurales de un metal o de una aleación. Sin duda, el microscopio es la herramienta más importante del metalurgista, tanto desde el punto de vista científico como del técnico. Es posible determinar el tamaño de grano, forma y distribución de varias fases e inclusiones que tienen gran efecto sobre las propiedades mecánicas del metal. La microestructura revelará el tratamiento mecánico y térmico del metal y, bajo un conjunto de condiciones dadas, podrá predecirse su comportamiento esperado.

#### **6.1.1 Equipo Metalográfico**

Entre los equipos útiles para la observación a través del microscopio, se encuentran:

- ✓ Mesa para desbaste manual.
- ✓ Cortadora de muestras metalográficas.
- ✓ Montadora de muestras en probetas de plástico.
- ✓ Pulidora para probetas.
- ✓ Embutidora metalográfica.
- ✓ Microscopio metalográfico.

Los cuales son de mucha importancia para el análisis de probeta y de materiales aunque no todos son indispensables.

### **6.1.1.1 Cortadora metalográfica**

Esta máquina consta de varios discos especiales, sustituibles entre sí, con el fin de poder seleccionar el disco adecuado para efectuar el corte de muestras de diversos tipos de materiales. Consta también de un sistema de refrigeración que se encarga, durante el corte, de mantener las muestras a temperaturas bajas evitando así el que la estructura cristalina de dichas muestras sea afectada por la elevación de la temperatura durante dicho corte y logrando con ello que la muestra sea representativa.

Los cojinetes empleados e la bomba del sistema de refrigeración en el motor de la cortadora son sellados, por lo que no necesitan lubricación durante su mantenimiento. La limpieza de la máquina se debe efectuar periódica y básicamente después de usarse, evitándose así la formación de masas de escoria.

### **6.1.1.2 Embutidora metalográfica**

La muestra cortada se embute en resina para su mejor tratamiento posterior y almacenado. La embutición se puede realizar mediante resina en frío: normalmente dos componentes, resina en polvo y un catalizador en líquido, o bien en caliente: mediante una embutidora, que, mediante una resistencia interior calienta la resina (mono componente) hasta que se deshace. La misma máquina tiene la capacidad de enfriar la muestra, por lo que es un proceso recomendado en caso de requerimientos de muchas muestras al cabo del día.

**Figura 25:** Embutidora metalográfica



**Fuente:**[http://es.wikipedia.org/wiki/Metalograf%C3%ADa#Pulido\\_metalogr.C3.A1fico](http://es.wikipedia.org/wiki/Metalograf%C3%ADa#Pulido_metalogr.C3.A1fico)

### 6.1.1.3 Pulidora metalográfica

Se usa el equipo debastadora o pulidora metalográfica, para separar la superficie del material, en su primera fase denominada Desbaste Grueso, donde se devasta la superficie de la muestra con papel de lija, de manera uniforme y así sucesivamente disminuyendo el tamaño de grano hasta llegar al papel de menor tamaño de grano. Una vez obtenido el último pulido con el papel de lija de tamaño de grano más pequeño. Al inicio de la segunda fase de pulido denominada Desbaste Fino, en la que se requiere de una superficie plana libre de ralladuras la cual se obtiene mediante una rueda giratoria húmeda cubierta con un paño especial cargado con partículas abrasivas cuidadosamente seleccionadas en su tamaño para ello existen gran posibilidad de abrasivos para efectuar el ultimo pulido; en tanto que muchos harán un trabajo satisfactorio parece haber preferencia por la gama de óxidos de aluminio para pulir materiales ferrosos y de los basados en cobre y óxido de cerio para pulir aluminio, magnesia y sus aleaciones.

La etapa del pulimento es ejecutada en general con paños macizos colocados sobre platos giratorios circulares, sobre los cuales son depositadas pequeñas cantidades de abrasivos, en general diamante industrial en polvo fino o bien en suspensión, con granulometrías como por ejemplo de 10, 6, 3, 1, y 0,25 micras.

El pulido se realiza sujetando la muestra a tratar con la mano o bien mediante un cabezal automático para pulir varias muestras a la vez. El cabezal automático ejerce una presión pre-configurada hacia el disco o paño de desbaste o pulido durante un tiempo concreto. Estos parámetros deben ser configurados según tipo de material (dureza, estado del pulido, etc.) Opcionalmente existen sistemas con dosificador automático de suspensión diamantada.

**Figura 26:** Pulidora metalográfica



**Fuente:**[http://es.wikipedia.org/wiki/Metalograf%C3%ADa#Pulido\\_metalogr.C3.A1fico](http://es.wikipedia.org/wiki/Metalograf%C3%ADa#Pulido_metalogr.C3.A1fico)

#### 6.1.1.4 Microscopio

Nadie sabe con seguridad quien inventó el microscopio. El microscopio óptico se desarrolló probablemente, a partir del telescopio de Galileo, durante el siglo XVII. Uno de los instrumentos más antiguos para ver objetos muy pequeños fue construido por el holandés Antony Van Leeuwenhoek (1632 – 1723), y estaba formado por una potente lente convexa y un soporte ajustable para el objeto a estudiar. Con este microscopio sumamente sencillo, Van Leeuwenhoek bien pudo haber conseguido ampliar objetos hasta 400x y, con él, descubrió protozoos y bacterias.

**Figura 27:** Microscopio de Van Leeuwenhoek



El factor limitante en el microscopio de Van Leeuwenhoek era la calidad de la lente convexa. El problema se pudo resolver con la adición de otra lente, para ampliar la imagen producida por la primera lente. Este microscopio compuesto formado por una lente objetiva y un ocular, junto con medio para el enfoque, un espejo o una fuente de luz y un soporte para sujetar y colocar el espécimen es la base de los microscopios ópticos actuales.

Un microscopio óptico moderno ofrece una ampliación máxima de 1000x, y permite al ojo resolver objetos separados 0.0002 mm. En un esfuerzo continuo para obtener una mejor resolución, se encontró que el poder de resolución del microscopio estaba limitado no sólo por el número y la calidad de las lentes sino, también, por la longitud de onda de la luz utilizada para la iluminación. Era imposible resolver puntos del objeto que estuviesen más próximos que unos cientos de nanómetros. El uso de luz de longitud de onda corta (azul o ultravioleta), proporcionó una ligera mejora.

En los años 1920, se descubrió que los electrones acelerados se comportan en el vacío como la luz. Viajan en línea recta y tienen una longitud de onda que es unas 100,000 veces más pequeñas que la de la luz. Además, se encontró que los campos eléctricos y magnéticos tienen el mismo efecto sobre los electrones que el que tienen las lentes y los espejos de vidrio sobre la luz visible.

El Dr. Ernst Ruska, en la Universidad de Berlín, combinó estas características y construyó en 1931 el primer microscopio electrónico de transmisión (MET). El primer microscopio electrónico usaba dos lentes magnéticas, y tres años más tarde, se añadió una tercera y se logró una resolución de 100 nanómetros, doblemente mejor que la del microscopio óptico en esa época. Actualmente, usando cinco lentes magnéticas en el sistema de visualización, se puede conseguir un poder de resolución de 0.1 nanómetros con aumentos con más de un millón de veces.

## 6.1.2 Cotizaciones del equipo

### MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE EXPLORACIÓN

11 Dearborn Road • P.O. Box 6043 • Peabody, MA 01961-6043 • Phone: (978) 535-5900 • Fax: (978) 536-2264 • <http://www.jeol.com>

Sr. José Loarca  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

Cotización No. 2007-23  
Fecha: Abril 20, 2010

Fija el precio de 30 días válidos

Item	Your Inquiry No.:		Bid Date:	
	Qty.	Description	Price	
1	1	<b>JSM-6390LV</b> <b>Microscopio electrónico de exploración</b> Resolución: HV: 3.0nm (at 30kV y 8mm WD) LV: 4.0nm en el modo de vacío bajo Magnificación: 5X to 300,000X (163 pasos) Acelerar el voltaje: 500V to 30kV	<b>\$125,000.00</b>	
<b>Consta de lo siguiente:</b>				
<b>A. CONTROL DE LA COMPUTADORA:</b>				
1. Dell Precision 390 Minitower Computadora PC de núcleo doble procesador, 1GB DDR2 ECC SDRAM Memory, 80GB SATA 10K RPM hard drive, 16x DVD+/-RW, 3.5" 1.44MB floppy drive, Windows XP PRO operating system, 20" flat panel display 2. Mouse control of all SEM functions 3. Impresora a color de chorro de tinta de R380 de Epson 4. Redujo knobset para el control de la mayoría de las funciones de SEM comunes				
<b>B. FUNCIONES AUTOMÁTICAS:</b>				
1. Secuencia de vacío 2. Control de compresión automático para las operaciones de LV 3. Auto-enfoque 4. Auto-contraste y lustre 5. Auto-stigmation 6. Auto-control de armas (la polarización, el filamento & la alineación) 7. Usuario registro de entrada con ajustes almacenados y recetas Almacenamiento de hasta 2000 "Recetas" de las condiciones microscopio operar				

### C. SISTEMA DE OBTENCION DE IMÁGENES

Item	Your Inquiry No.: «BidNumber»		Date: «BidDate»	
	Qty.	Description	Price	

1. Solución de modo de presentación de imagen de GUI de pixeles de 1024 x 768
2. Memoria de marco de examen lenta con el acuerdo 640 x 480 x 8 bits, 1280 x 960 x 8 bits, y 2560 x 1960 x 8 bits
3. Memoria de cuadro de alta velocidad con acuerdo de bit de 640 x 480 x 8
4. Cuadro hacer un promedio y la integración de pixel
5. Funciones de mejora de imagen de tabla de consulta incluyendo la gamma
6. En la medición de pantalla vía ratón el arrastrar y soltar o cursores móviles
7. Seudo imagen de apariencia la pantalla
8. Ampliación de desplazamiento de foco de Digital
9. El enfoque dinámico vincular con kv y revista
10. La imagen viva doble la pantalla y el aviso de tiempo real que mezcla
11. Cinco revistas instantáneas programadas definibles
12. Autoedición directa de la aplicación con plantillas de five-selectable. Imprime los parámetros de SEM automáticamente
13. Representa por imágenes almacén (guarda al disco) con el ordenación en serie de automóvil del nombre de archivo con la extensión de tres dígitos
14. El software de storage de base de datos de imagen incluyendo álbumes de miniatura, las funciones de búsqueda y montaging y la generación de informe
15. El tiempo real redujo la trama
16. Interfaz para el control de examen externo
17. Visualización de imagen de resolución de pantalla completa / llena
18. RS170(BNC) salida de video
19. Botones de barra de herramientas adaptables al usuario para las funciones comúnmente usadas

### D. OPTICA DEL ELECTRON:

1. Arma de fuego de electrón y filamento pre- centrado
2. Auto- polarización con el manual contar más que
3. Lente de condensador de desplazamiento de foco dos paso
4. 60 ° lente objetivo cónico
5. Abertura diferencial bombear para la operación de LV
6. Abertura final exteriormente graduable tres paso
7. Desplazamiento de imagen electromagnético con cimbra de clic de ratón, desplazamiento de foco del centro de clic o arrastre y bajada (m de  $\mu$  de  $\approx 50$ )
8. El haz electromagnético borrando (automático después de la imagen la adquisición)

Item	Your Inquiry No.: «BidNumber»		Date: «BidDate»
	Qty.	Description	Price

**E. DETECTORES DE ELECTRON:**

1. Everhart Thornly detector para la obtención de imágenes de electrón secundaria
2. Detector de obtención de imágenes de electrón backscattered de estado sólido tres segmento para COMPO, TOPO, y la obtención de imágenes de Mode de sombra

**F. PASO Y LA PROBETA CAMARA:**

1. Paso de goniometer de eucentric (las distancias en absoluto trabajadoras) de pendiente:
  - a) X=80mm, Y=40mm, Z=5 to 48mm, T=-10° to 90°, R=360°
  - b) probeta de kit de recipiente
  - c) cobertura completa de la muestra de diámetro de 5 pulgadas

**G. SISTEMA DE VACIO:**

1. 420 l/sec bomba de difusion
2. Two100 l/min endurecer bombas (uno para LV)
3. Ancho de via de vacio de Digital para la compresión de LV la presentación
4. Monitor de vacio infalible
5. compression operativa of  $5 \times 10^{-6}$  Torr

H. instalación y la prueba del rendimiento en el laboratorio de cliente

I. un año que todo separa y la seguridad de trabajo (empieza con el primer uso de instrumento de cliente)

J. el curso en JEOL del usuario cuatro días, incluyendo cuota de la matrícula y suministros para una persona

K. un conjunto de operador  
(352993)

## 6.2 Análisis de estructuras de metales

Como los átomos tienden a adoptar posiciones relativamente fijas, esto da lugar a la formación de cristales en estado sólido. Los átomos oscilan alrededor de puntos fijos y están en equilibrio dinámico, más que fijos estáticamente. La red tridimensional de líneas imaginarias que conecta los átomos se llama red espacial, en tanto que la unidad más pequeña que tiene la simetría total del cristal se llama celda unitaria.

Sólo hay catorce tipos posibles de redes espaciales, y pueden clasificarse en siete sistemas cristalinos; los cuales están enumerados en la Tabla XVII afortunadamente, la mayoría de los metales importantes se cristalizan ya sea en los sistemas cúbicos o en los hexagonales, y sólo tres tipos de redes espaciales se encuentran comúnmente: la BCC (cúbica centrada en el cuerpo), la FCC (cúbica centrada en las caras) y la HC (hexagonal compacta).

**Tabla XVII:** Características de los sistemas cristalinos

Estructura	Ejes	Ángulos entre ejes
<b>Cúbica</b>	$a=b=c$	Todos los ángulos de $90^{\circ}$
<b>Tetragonal</b>	$a=b \neq c$	Todos los ángulos de $90^{\circ}$
<b>Ortorrómbica</b>	$a \neq b \neq c$	Todos los ángulos de $90^{\circ}$
<b>Hexagonal</b>	$a=b \neq c$	Dos ángulos de $90^{\circ}$ Un ángulo de $120^{\circ}$
<b>Romboédrica</b>	$a=b=c$	Todos los ángulos son iguales y ninguno es de $90^{\circ}$
<b>Monoclínica</b>	$a \neq b \neq c$	Dos ángulos de $90^{\circ}$ Un ángulo $\beta$ distinto a $90^{\circ}$
<b>Triclínica</b>	$a \neq b \neq c$	Todos los ángulos son distintos y ninguno es de $90^{\circ}$

Fuente: Donald R. Askeland. La ciencia e ingeniería de los materiales. Pág. 36

### 6.3 Identificación de materiales

Los metales desde el punto de vista tecnológico y de sus aplicaciones en ingeniería, se pueden clasificar en:

➤ **Metales ferrosos:**

- a) Aceros
- b) Fundiciones

➤ **Metales no ferrosos:**

- a) Aluminio y sus aleaciones
- b) Cobre y sus aleaciones
- c) Zinc
- d) Estaño
- e) Titanio

**Los metales ferrosos se subdividen en:**

- a) Metales del grupo del hierro: hierro, cobalto, níquel y manganeso. Aditivos en aleaciones del hierro. Propiedades parecidas a los aceros de alta aleación.
- b) Metales refractarios o de alto punto de fusión: metales ferrosos con punto de fusión más alto que el hierro.
- c) Metales del grupo del uranio: se emplean en aleaciones destinadas a la ingeniería nuclear.

**Los metales no ferrosos se subdividen en:**

- a) Metales ligeros: berilio, magnesio y aluminio, cuya densidad es pequeña.

- b) Metales nobles: plata, oro y metales del grupo del platino. A ellos puede agregarse el “seminoble” cobre. Poseen gran resistencia a la corrosión.
  
- c) Metales fácilmente fusibles: zinc, cadmio, mercurio, estaño, plomo, bismuto, talio, antimonio y los elementos con propiedades metálicas debilitadas-galio y germanio.

#### **6.4 Análisis de dureza y micro dureza**

Las cifras de dureza pueden obtenerse mediante diversos ensayos cada uno de los cuales se basa en distintas definiciones de lo que es la dureza de los metales y aleaciones.

**La dureza Brinell**, se basa en la definición que dice: Dureza es la propiedad de los metales de oponerse a la penetración de una esfera de acero muy duro, de 5 a 10 mm de diámetro.

**La dureza Rockwell**, se funda en otra definición: La dureza de los metales se mide por la profundidad de penetración de una esferita de 1/16 de pulgada de diámetro, para metales blandos, o de un diamante de forma cónica (cone), para metales duros. Se han confeccionado escalas y gráficos “B” y “C” de dureza Rockwell que corresponden a las cifras obtenidas mediante el uso de bola o cono, respectivamente.

**La dureza Shore** parte de la base de que la dureza de los metales puede medirse según la altura del rebote de una esfera de acero, al caer libremente desde una altura constante sobre la superficie de la muestra pulida, plana y horizontal. El instrumento ideado para efectuar el ensayo de dureza Shore se llama Rebondímetro o Escleroscopio. Para efectuar cualquier ensayo de dureza no debe omitirse de limpiar la muestra y retirar el óxido que pudiera tener en la parte que se ensayará. En general, puede decirse que la dureza de los materiales metálicos es la resistencia a la penetración, pero, como pueden hacerse ensayos de dureza según diversos métodos, la dureza no tendría un valor bien determinado. Por este motivo, se aprovecha la relación que existe entre los resultados obtenidos por unos u otros métodos y se expresan mencionando cualquiera de ellos.

**Ensayo de micro dureza:** este ensayo debe su nombre a que se produce una impresión microscópica, al ensayar las muestras.

Se emplea un microscopio portátil de tubo vertical, rígido, con accesorios para observaciones metalográficas y con luz reflejada, campo oscuro o campo claro. El ensayo de Micro dureza se usa en los laboratorios metalográficos y sus aplicaciones pueden ser para efectuar mediciones de la dureza de superficies muy pequeñas, tales como un grano cristalino. Esta medición se verifica en muestras preparadas en la misma forma que para una observación microscópica, y para conocer, por ejemplo, la Micro dureza de una fase pura, separada de la estructura, como también para la de alguna impureza de alguna muestra.

Se emplea también para medir la Micro dureza de láminas muy delgadas, tales como los revestimientos de estaño en la hojalata, zinc, plateados, dorados, etc.

La muestra se monta en plástico como para una observación microscópica, en los casos en que, por su forma, tamaño o blandura (resortes), no pueden tomarse a mano para pulirlas.

El penetrador es un diamante muy cuidadosa y finamente pulido, que tiene la misma forma piramidal de base cuadrada como para la dureza Vickers, pero mucho más pequeño (según la marca de los instrumentos usados, el penetrador puede ser de sección triangular o en forma de rombo). Este penetrador está montado en el microscopio en la ubicación y posición que corresponde al objetivo. Debido a esta posición y al hecho de que los microscopios de uso común pueden tener un dispositivo para pasar del uso de un objetivo al de otro, montado en una corredera circular giratoria, sucede que, después de haber observado un punto de la muestra con este microscopio, se puede enfrentar después, el diamante, sobre el mismo punto para proceder a medir su Micro dureza y viceversa.

La Micro Dureza se expresa en  $\text{Kg}/\text{mm}^2$  y el cálculo para llegar a la fórmula final, es el mismo que para la Dureza Vickers. El ángulo formado por dos caras opuestas del penetrador piramidal de base cuadrada, es de  $136^\circ$ . La Micro Dureza se calcula, en consecuencia, con el mismo procedimiento de la Dureza Vickers, pero tomando en consideración que la carga C es constante y vale 0.025 Kg:

$$\Delta V = 1,854 * (C/D^2), \text{ para la dureza Vickers};$$

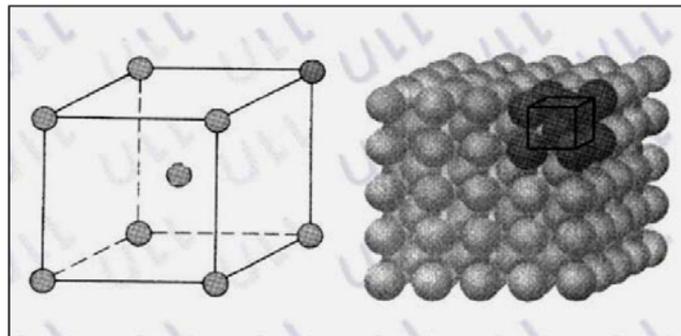
$$\Delta M = (1,854*0.025)/D^2 = (0.04635/D^2) \text{ para la Micro Dureza.}$$

## 6.5 Documentación fotográfica de estructuras cristalinas

**Cúbica centrada en el cuerpo BCC:** si los átomos se representan como esferas, el átomo del centro toca a cada átomo de las esquinas, pero éstos no se tocan entre sí. Como cada átomo de las esquinas lo comparten ocho cubos adyacentes y el átomo del centro no puede compartirlo ningún otro cubo, la celda unitaria de la estructura BCC contiene:

- ✓ 8 átomos en las esquinas  $\times 1/8 = 1$  átomo
- ✓ 1 átomo central = 1 átomo
- ✓ **Total = 2 átomos**

**Figura 28:** Red cubica centrada en el cuerpo



**Fuente:** <http://webpages.ull.es/users/TEMARIO/T1METALES/Diapositiva18.jpg>

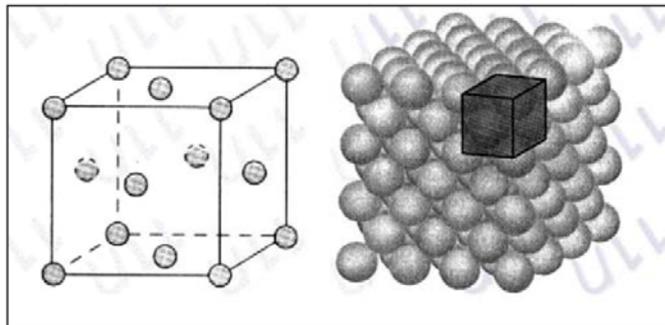
**Cúbica centrada en las caras FCC:** además de haber un átomo en cada esquina del cubo, hay uno en el centro de cada cara, pero ninguno en el centro del cubo. Cada átomo de las caras toca los átomos de las esquinas más próximas. Como cada átomo de las esquinas lo comparten ocho cubos adyacentes y cada

átomo de las caras es compartido sólo por un cubo adyacente, la celda unitaria contiene:

- ✓ 8 átomos en las esquinas  $\times 1/8 = 1$  átomo
- ✓ 6 átomos centrados en las caras  $\times 1/2 = 3$  átomos
- ✓ **Total = 4 átomos**

Esto indica que la estructura FCC está más densamente empaquetada que la BCC.

**Figura 29:** Red cúbica centrada en las caras

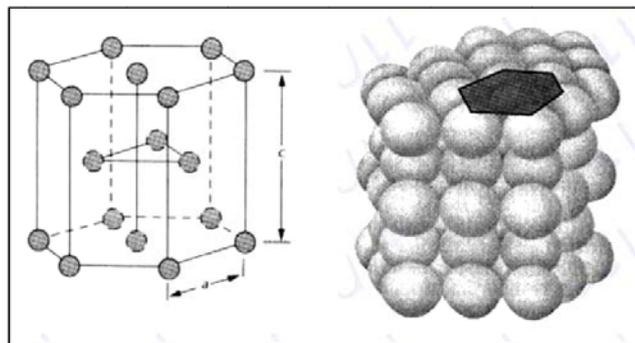


**Fuente:** [webpages.ull.es/users/mlaz/TEMARIO/T1METALES/Diapositiva19.jpg](http://webpages.ull.es/users/mlaz/TEMARIO/T1METALES/Diapositiva19.jpg)

**Hexagonal compacta:** la figura usual de la red hexagonal compacta muestra dos planos basales en forma de hexágonos regulares, con un átomo tanto en cada esquina del hexágono como en el centro. Además, hay tres átomos en forma de triángulo a la mitad de la distancia entre los dos planos basales. En total esta celda unitaria contiene:

- ✓ 12 átomos en las esquinas  $\times 1/6 = 2$  átomos
- ✓ átomos centrados en las caras superiores e inferiores  $\times 1/2 = 1$  átomo
- ✓ átomos en el centro de la red  $\times 1 = 3$  átomos
- ✓ **Total = 6 átomos**

**Figura 30:** Red hexagonal compacta



**Fuente:** [webpages.ull.es/users/mlaz/TEMARIO/T1METALES/Diapositiva20.jpg](http://webpages.ull.es/users/mlaz/TEMARIO/T1METALES/Diapositiva20.jpg)

➤ **Práctica de Laboratorio**

**ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL DE MATERIALES  
(Práctica No.1)**

Profesor	
Instructor	
Nombre	
Hora y día de clase	
Grupo de Lab.	

Pre-Reporte	20%	
Examen Rápido	20%	
Reporte	40%	
Conclusiones	20%	
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	

## **PRE-REPORTE**

Contesta las siguientes preguntas (a mano), en base a la lectura previa realizada sobre análisis microestructural.

- Con sus propias palabras explique los pasos para realizar una metalografía.
- ¿Cuál es la diferencia en la preparación metalográfica de los distintos materiales (aleaciones)?
- ¿Cuál es la importancia del ataque químico?
- ¿Qué reactivo de ataque utilizaría para un acero 1018, un 1045 y un aluminio 6061?

### **1. OBJETIVOS**

- El alumno conocerá y aplicará el procedimiento de preparación de muestras de materiales para su análisis metalográfico.
- El alumno conocerá los cuidados que debe de tener para desarrollar una buena preparación de muestras para análisis metalográfico.
- El alumno observará mediante el microscopio óptico la micro estructura de diferentes muestras.
- El alumno inferirá el tipo de material, su historia térmica y de procesamiento a partir del análisis micro estructural.

## 2. MATERIAL / EQUIPO

- Muestras de aceros
- Hierro fundido
- Soldadura
- Lijas 200, 400, 600 y 800
- Alúmina
- Nital
- Equipo para preparación de muestras
- Microscopio metalográfico

## 3. PROCEDIMIENTO

1. El instructor explicará la teoría general correspondiente a la práctica.
2. El instructor y el alumno elaborarán muestras metalográficas.
3. Se observarán las metalografías en el microscopio, identificando las fases presentes y algunas otras características.

## 4. REPORTE

1. Elabore una investigación sobre, las microestructuras de los materiales

Foto	Descripción del Proceso

## 5. CONCLUSIONES

**ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL  
DE MATERIALES MEDIANTE SEM Y SU APLICACIÓN EN  
LA INDUSTRIA  
(Práctica No.2)**

Profesor		Pre-Reporte	20%	
Auxiliar		Examen	20%	
Nombre		Reporte	40%	
Hora y día de clase		Conclusiones	20%	
Grupo de Lab.		<b>TOTAL</b>	100%	

**PRE-REPORTE**

¿Cuál es la diferencia entre el ICP (espectrometría por inducción de plasma) y el SEM (microscopio electrónico de barrido)?

**Investigación:**

Describa el principio que utilizan estas dos técnicas para determinar la composición química de los elementos (electrones retrodispersados).

**1. OBJETIVOS**

- Comprender el principio de operación y la capacidad analítica del SEM mediante su aplicación al análisis de falla y al control de procesos industriales.
  
- Valorar el uso de las técnicas analíticas de vanguardia como herramientas necesarias para la investigación e innovación tecnológica.

## **2. MATERIAL / EQUIPO**

- Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)

## **3. PROCEDIMIENTO**

- 8) Se explicará el principio de operación y la capacidad analítica del SEM, así como el procedimiento para la preparación de muestras.
- 9) Se darán algunos ejemplos de la aplicación del SEM en el análisis de falla, en la investigación e innovación tecnológica.

## **4. RESULTADOS.**

- 1.- Explique el principio de funcionamiento del microscopio electrónico de barrido (SEM).
2. ¿Cuál es la capacidad de análisis del SEM?
3. ¿En qué casos se necesita recubrir las muestras que se analizan en el SEM? Explique los dos tipos de recubrimiento.
4. Describa el análisis de rayos X que puede realizar el SEM.

## **5. CONCLUSIONES**



## **7. CÁMARA CRIOGÉNICA**

### **7.1 Tratamientos Criogénicos**

Los tratamientos subcero se aplican a  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , estos son los precursores de los tratamientos criogénicos, son tratamientos térmicos, que se realizan a temperaturas de nitrógeno líquido  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Se pueden trabajar a temperaturas de helio líquido  $-264\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; los efectos son permanentes y afectan a todo el cuerpo del material, no son aplicación de tipo superficial.

Los tratamientos criogénicos son compatibles con los tratamientos térmicos y termoquímicos, y respetuosos con el medio ambiente, su realización no produce ningún vertido o residuo, totalmente biodegradables.

Aumentan la vida útil de los materiales, aumentan su rendimiento y aumentan el rendimiento económico.

#### **7.1.1 Antecedentes**

El acceso a temperaturas criogénicas no fue posible hasta que, a finales del siglo XIX, se descubrió el proceso que permitía conseguir la licuefacción del aire.

Esta tecnología aun tuvo que evolucionar hasta que ya se pudieron conseguir cantidades suficientes de gas licuado.

Los primeros ensayos de lo que podríamos llamar tratamientos criogénicos datan de la primera mitad del siglo XX y, al parecer, se realizaron en Alemania y en la extinta Unión Soviética. Poco se sabe de aquellas experiencias que, básicamente, consistían en sumergir acero directamente en nitrógeno líquido y dejarlo hasta alcanzar el equilibrio térmico.

El inicio del desarrollo industrial de este tipo de procesos es mucho más reciente y se produjo en Norteamérica en los años 70 de la mano de la industria aeroespacial. También datan de esa época los trabajos del Dr. Randall Barron de la Luisiana Technical University a los cuáles aún se hace referencia frecuentemente hoy en día. Gracias a la mejora de los sistemas de control y a que el nitrógeno líquido ya era bastante asequible aparecieron las primeras empresas que realizaban tratamientos criogénicos y su uso industrial empezó a ser un hecho.

En los años 90 la tecnología comenzó a extenderse por todo el mundo y hoy es posible encontrar instalaciones en los cinco continentes aunque, curiosamente, Europa lleva un gran retraso en la implantación de este tipo de procesos. Cuando el proyecto de Cryobest International S.L. se inició en 2002 sólo había constancia de una empresa (inglesa) que hiciera tratamientos criogénicos en Europa. Aun hoy se pueden contar con los dedos de una mano las empresas que se dedican a realizar este tipo de procesos aunque también empieza ofrecerlos alguna compañía dedicada a los tratamientos térmicos convencionales.

### 7.1.2 Definición y tipos de proceso

Las temperaturas criogénicas se definen por la Cryogenic Society of América como aquellas que son inferiores a 120 K (aproximadamente  $-153$  °C). Por lo tanto los tratamientos criogénicos serían aquellos en los que los materiales son sometidos a temperaturas inferiores a la mencionada.

En este punto es preciso hacer una aclaración. A veces, sea inconsciente o interesadamente, se confunden los tratamientos sub-cero con tratamientos criogénicos cuándo de hecho son algo totalmente distinto. Los tratamientos sub-cero (shallow cryogenics) se realizan a una temperatura mucho más alta (normalmente en torno a  $-80$  °C). Este proceso, que es ofrecido por bastantes empresas convencionales de tratamiento térmico, se realiza normalmente a continuación del temple. El objeto es continuar con la transformación del temple (austenita a martensita) que, en ciertos aceros, no se llega a completar a temperatura ambiente.

Hay muchos tipos de tratamiento que podríamos denominar como criogénicos. Para una mejor comprensión tal vez podrían agruparse en tres tipos: los convencionales (secos), los de inmersión (húmedos) y los múltiples. Prácticamente todos ellos utilizan nitrógeno líquido como agente enfriador (en algunos casos complementados con enfriamiento mecánico).

Los procesos criogénicos que hemos denominado como convencionales son los más extendidos. Consisten básicamente en enfriar la cámara muy lentamente hasta llegar a una temperatura que, normalmente, ronda los  $-180$  °C. Esta temperatura se mantiene durante un periodo prolongado de tiempo (típicamente de 24 a 48 horas) y, posteriormente, se vuelve, de nuevo lentamente, hasta la temperatura ambiente.

Habitualmente el tratamiento se completa con uno o varios revenidos. Es fácil concluir que, para realizar un proceso de este tipo son necesarios dos, tres e incluso más días.

Los procesos de inmersión son similares a los convencionales salvo en que, cuando se llega a una temperatura suficientemente baja, la cámara se inunda con nitrógeno líquido (-196 °C) y el material a tratar queda sumergido. Este tipo de procesos aumenta el riesgo de choque térmico y tiene peor control del proceso ya que hay que esperar a que el líquido se evapore para volver a la temperatura ambiente lo cual hace que el proceso pueda ser aun más largo, aparte de muy poco eficiente desde el punto de vista del consumo.

Salvando las distancias, este proceso es el que más se parece a los sistemas originales de inmersión directa en nitrógeno líquido. Actualmente es defendido por un fabricante canadiense de procesadores y en la práctica se utiliza bastante menos que el proceso seco.

Los procesos “múltiples” son los más avanzados. Se desarrollaron por primera vez a finales de los 90 por una empresa de Florida. A diferencia de los tratamientos criogénicos convencionales, que son isotermos, someten a los materiales a varias etapas o ciclos controlados de temperatura criogénica. Los gradientes térmicos son mayores y el tiempo total de ciclo se reduce notablemente. Los resultados son, generalmente, mejores.

**Figura 31:** Procesador criogénico multietapa Cryobest®



**Fuente:** <http://eastcoastenergyservices.com/Equipo.html>(CCI)

El proceso criogénico multietapa o proceso Cryobest pertenece a este último tipo. Los sucesivos enfriamientos y calentamientos a los que se somete al material inducen un efecto mecánico de contracción expansión que se superpone al mero efecto térmico haciendo que el tratamiento sea más efectivo. El tiempo total de un ciclo de tratamiento de este tipo puede ser de tan solo 12 horas, pudiendo ser mayor en función de los espesores de los materiales a tratar (aunque raramente es de más de un día). Normalmente no se realiza revenido después del proceso.

Este tipo de procesos criogénicos múltiples aún es poco conocido, pero tiene todos los ingredientes para ser el más utilizado en el futuro, especialmente para grandes volúmenes de producción, debido a su mejor productividad y mayor eficiencia (menor consumo de nitrógeno líquido).

### 7.1.3 Efectos y materiales

La lista de materiales a los que se pueden aplicar los tratamientos criogénicos es muy extensa y sigue ampliándose a medida que se ensayan nuevas aplicaciones. Entre los que responden positivamente al tratamiento se encuentran:

- ✓ Aceros: de cementación, microaleados, de trabajo en frío y en caliente, rápidos, inoxidable, etc.
- ✓ Fundición
- ✓ Aleaciones de cobre
- ✓ Aleaciones de aluminio
- ✓ Metal duro
- ✓ Materiales cerámicos
- ✓ Ciertos polímeros (nylon, teflón...)

Los tratamientos criogénicos pueden tener efectos diversos en los materiales y entre los más habituales están los siguientes:

- ✓ Mejora de la resistencia al desgaste
- ✓ Aumento de la vida a fatiga
- ✓ Eliminación de tensiones
- ✓ Estabilidad dimensional
- ✓ Mejora de la conductividad
- ✓ Mayor resistencia a la corrosión

La respuesta al proceso dependerá del material y, lógicamente, en función de la aplicación considerada tendrán más o menos importancia unos u otros de los efectos arriba mencionados.

En algunos casos los tratamientos criogénicos podrían considerarse como una extensión de los ciclos convencionales de temple. Sin embargo, también pueden tratarse materiales que no han sido templados. En cualquier caso hay que destacar que, aunque a veces puedan producirse ligeros aumentos de la dureza, los tratamientos criogénicos no la alteran de modo significativo.

Hay que tener presente que, a pesar de las temperaturas a las que se efectúan, los procesos criogénicos son tratamientos térmicos y, como tales, afectan de modo permanente a todo el volumen del material. Es decir, no son tratamientos superficiales. Por tanto el proceso se aplica una sola vez y si se somete, por ejemplo, a un punzón ó una cuchilla a un tratamiento de este tipo, podrá ser afilada o modificada cuantas veces se desee sin que se produzca una pérdida de prestaciones.

Otra característica interesante de este tipo de tratamientos es que son perfectamente compatibles con los recubrimientos anti desgaste (PVD, CVD, etc.) habituales en la industria y que la combinación de este tipo de procesos puede mejorar aún más los resultados.

Por último hay que destacar que, desde un punto de vista medioambiental, los procesos criogénicos son totalmente ecológicos. Para la realización de un tratamiento criogénico multietapa sólo se utiliza nitrógeno líquido (que se extrae de la atmósfera y, tras el proceso, vuelve a ella) y se consume muy poca energía eléctrica.

#### **7.1.4 Teorías relativas a los tratamientos criogénicos**

En primer lugar es necesario aclarar que los tratamientos criogénicos se han desarrollado prácticamente de forma empírica, a lo largo de innumerables experiencias de laboratorio y de campo.

Durante los últimos años se han llevado a cabo en todo el mundo numerosos estudios que han analizado la respuesta de diversos tipos de materiales a las temperaturas criogénicas y las diferencias entre distintas variantes de proceso.

La primera explicación que se dio a las a menudo sorprendentes mejoras en las prestaciones de ciertos materiales considera que los tratamientos criogénicos son una mera prolongación de los procesos de temple. Cuando se temple un acero, a medida que se baja la temperatura, la austenita se va transformando en martensita, una fase del acero más dura y resistente. La bajada de temperatura habitualmente se detiene al llegar a temperatura ambiente. Sin embargo hay materiales cuyo límite de transformación está por debajo de dicha temperatura ambiente (por ejemplo algunos aceros de trabajo en frío) con lo cual queda en ellos una parte importante de austenita sin transformar. En estos casos el tratamiento criogénico permitiría continuar con la transformación y disminuir el porcentaje de austenita retenida, transformándola en martensita.

Por otra parte, la austenita retenida no es totalmente estable y, con el tiempo, tiende a transformarse en martensita. Dado que el cristal de martensita es ligeramente más grande que el de austenita, esto puede llegar a provocar tensiones y deformaciones en los aceros que tienen este tipo de estructuras.

Si esta fuera la única explicación de los tratamientos criogénicos, bastaría con realizar un simple tratamiento subcero para conseguir los mismos resultados. Sin embargo, aunque los tratamientos subcero pueden producir ciertos efectos en algunos casos, éstos distan mucho de los que se consiguen con un tratamiento criogénico.

Fruto de las investigaciones realizadas en este campo se ha podido constatar que, a temperaturas criogénicas, se produce en los aceros una precipitación de  $\eta$ -carburos. Estos, finamente dispersos por la estructura cristalina del acero, la hacen más resistente.

A pesar de que la transformación austenita-martensita y la precipitación de carburos son hechos ciertos y se mencionan con frecuencia como la justificación de los efectos de los tratamientos criogénicos [5], no constituyen una explicación suficientemente convincente. Estos fenómenos sólo se producen en los aceros (y no en todos) y, como se ha mencionado, hay una amplia variedad de materiales cuya respuesta a las bajas temperaturas no puede en absoluto explicarse de este modo.

Por ello se han realizado numerosas investigaciones que han tratado de encontrar la clave del funcionamiento de los tratamientos criogénicos pero, hasta la fecha, no se ha llegado a nada concluyente. Las teorías que parecen más plausibles apuntan a la eliminación de tensiones y pequeños defectos a nivel microcristalino lo cuál proporcionaría estructuras más homogéneas y continuas. En cualquier caso, sigue habiendo mucho que investigar y, dado el gran número de materiales que responden al tratamiento, hay un largo trabajo por delante. No hay duda de que los tratamientos criogénicos afectan al comportamiento de los materiales pero no aún no está suficientemente claro el por qué.

### **7.1.5 Aplicación de los tratamientos criogénicos**

Cuestiones como el desgaste o la fatiga tienen unas consecuencias económicas y medioambientales incalculables en nuestra civilización. No es extraño, por tanto, el estudio de estos fenómenos y la búsqueda de soluciones que los minimicen hayan sido constantes a lo largo de la historia.

La necesidad de mejorar el rendimiento de los materiales siempre está presente. Consecuentemente, es fácil entender que las aplicaciones de los tratamientos criogénicos son innumerables y que están en continuo desarrollo. Las hay en prácticamente todos los sectores: metalmecánico, estampación, fundición e inyección, siderurgia, automoción, aeronáutico y aeroespacial, obras públicas, minería, forestal, agricultura, industria química, papelero, eléctrico, material quirúrgico y ortopédico, material deportivo, competición de motor, etc.

Entre los materiales que se pueden tratar criogénicamente se pueden encontrar herramientas y componentes de todo tipo: cuchillas, brocas, fresas, cortadores, brochas, sierras, insertos, punzones, matrices, electrodos, moldes, rodets, muelles, engranajes, rodamientos, motores, transmisiones, cables, conectores... Obviamente en cada caso el efecto buscado es distinto (resistencia al desgaste en las cuchillas, vida a fatiga en las transmisiones, conductividad en los cables, etc.)

La vida en servicio de un componente depende de muchos factores y la aplicación de un tratamiento criogénico es sólo uno más de ellos.

Si, por ejemplo, se toma el caso de una herramienta de corte (por Ejemplo una broca), en su rendimiento influirán en mayor o menor medida factores como la geometría, el material en el que se ha fabricado, sus tratamientos térmicos, el recubrimiento (si lo hay), el material a taladrar, el lubricante o refrigerante empleado, los parámetros de proceso (velocidad de corte, avance...), la máquina e, incluso, el operario. Una operación de taladrado es la suma de todos estos factores y una variación en cualquiera de ellos puede alterar notablemente el rendimiento de la herramienta.

El tratamiento criogénico no es más que un factor más. Con esto se quiere indicar que en ningún caso puede considerarse como una panacea y que su resultado dependerá de cada caso concreto. Por eso no es raro que se presenten aplicaciones aparentemente similares en las que no se obtenga el mismo resultado. Incluso el tratamiento de una misma herramienta podrá proporcionar resultados completamente distintos en función de la aplicación.

No obstante, desde la experiencia de Cryobest International, S.L., duplicar la vida es un resultado que se puede considerar como bastante normal. Se han encontrado casos en los que se ha llegado incluso a multiplicar por seis la vida de una herramienta.

#### **7.1.6 Ejemplos de aplicación**

Para ilustrar mejor las posibilidades de los tratamientos criogénicos a continuación se exponen algunos casos reales. En todos ellos los tratamientos se realizan en Cryobest International, S.L. utilizando el sistema multietapa.

Un caso muy ilustrativo es el de la fabricación de direcciones para camiones. La operación concreta es el tallado de la cremallera para lo cual se utilizan peines cortadores tipo Maag. Estos peines se fabrican con un acero rápido pulvimetalúrgico (ASP 2030 de Erasteel) y se recubren con TIN, cuando son nuevos y cada vez que son afilados.

Tras la aplicación del tratamiento criogénico multietapa a los peines, estos han pasado a fabricar una media de 160 cremalleras entre afilados, frente a las 60 de media que podían fabricar sin el tratamiento. No sólo eso: mientras que anteriormente se retiraban de 0,3 a 0,4 mm. De material en cada afilado ahora sólo hay que retirar de 0,2 a 0,3 mm. Debido a que el desgaste es más uniforme.

El tratamiento criogénico sólo se aplica una única vez en cada peine y en este caso ha permitido multiplicar por más de tres la vida de la herramienta y, consecuentemente, reducir la frecuencia de recubrimientos y afilados. Además, también se reducen los cambios de herramienta que tienen un peso importante en la fiabilidad y el coste del proceso. En este ejemplo, que corresponde a la planta que TRW tiene en Pamplona, la incidencia del coste de la herramienta en cada pieza fabricada se ha reducido a menos de un tercio de la que tenía antes de utilizar el proceso.

Los procesos criogénicos también pueden aumentar la vida de servicio de los muelles. En una empresa que inyecta plástico se utilizan gran cantidad de pequeños muelles para accionar una parte móvil de ciertos moldes de alta producción. Con el uso, estos muelles van perdiendo prestaciones hasta que, en torno a 1.000.000 ciclos, quedan inservibles (en la práctica se cambian tras 800.000 inyectadas ya que a partir de ese punto aumenta el riesgo de aparición de roturas).

Desde que estos muelles se someten al proceso criogénico multietapa mantienen su capacidad, sin roturas, hasta 2.000.000 de ciclos aunque se ha decidido cambiarlos cada 1.600.000 para contar con un margen de seguridad.

Las aleaciones de cobre mejoran su rendimiento con el tratamiento criogénico. Una empresa fabricante de componentes de automoción realiza procesos de soldadura por resistencia. Para ello utiliza electrodos de cobre Mallory 100 (CuCoBe) con geometrías diversas. Tras someterlos al tratamiento, prácticamente todos ellos mejoran en mayor o menor medida su rendimiento. En el caso más espectacular se pasó de reparar el electrodo cada 2 horas (unas 300 piezas) a hacerlo cada 12 horas (unas 1.800 piezas).

También el metal duro responde bien a este proceso y de ello dan fe numerosas experiencias. Una empresa francesa del sector aeronáutico taladra titanio con brocas de metal duro de Ø7,9. Con el tratamiento criogénico multietapa prácticamente se ha multiplicado por cuatro el número de agujeros pasando de apenas 150 a cerca de 600 por broca.

Otra empresa del mismo sector utiliza insertos de metal duro para tronzar Inconel 718. Con la aplicación del proceso criogénico son capaces de cortar dos piezas por arista cuando antes sólo podían cortar una.

También otros sectores pueden beneficiarse de la aplicación de los tratamientos criogénicos. Una empresa portuguesa de forja en caliente ha realizado diversas pruebas con el tratamiento criogénico multietapa aplicado a sus estampas de martillo. La conclusión es que el proceso duplica la vida de las estampas, fabricadas en acero H13.

Este resultado es similar al conseguido con el proceso de nitruración, pero tiene la ventaja de que afecta a todo el material (la nitruración es superficial) lo cual permite repasar las estampas si se deterioran. Por ello es la opción que están utilizando para sus nuevos utillajes.

Una empresa fabricante de pasta de papel situada en el sur de Francia utiliza grandes cuchillas de HSS para triturar los troncos que llegan a la fábrica y convertirlos en astillas. Con la aplicación del tratamiento criogénico multietapa la vida de las cuchillas se ha triplicado. Si se tiene en cuenta que, hasta ahora, las cuchillas se tenían que cambiar y afilar a diario, es fácil comprender la importante ganancia en productividad conseguida gracias al proceso.

Hay numerosos ejemplos de este tipo y la lista de resultados positivos crece día a día. Pero los tratamientos criogénicos no funcionan en todas las situaciones y es preciso tener presente que cada caso es diferente y que hay muchos factores que influyen en los resultados. Por ello es conveniente probar y evaluar cuidadosamente cada aplicación en condiciones reales de funcionamiento.

## **7.2 Clasificación de Cámaras Criogénicas**

### **Proceso Criogénico Convencional:**

- ✓ Tasa de enfriamiento de temperatura lenta.
- ✓ Largo tiempo de permanencia a temperatura criogénica  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante largos periodos de tiempo (normalmente de 24 a 48 h.)

- ✓ Incremento lento de temperatura hasta alcanzar la temperatura ambiente.
- ✓ Se complementa con un tratamiento térmico de revenido.

### **Proceso criogénico multietapa:**

- ✓ No es un proceso de aplicación isotérmica.
- ✓ Se realizan diversas etapas o ciclos a temperatura criogénica.
- ✓ El tiempo de un proceso típico es menor de 15 - 20 horas frente a las 48 – 72 horas necesarias para un proceso convencional.
- ✓ Es más eficiente y proporciona mejores resultados.

### **7.2.1 Tipos de cámaras criogénicas**

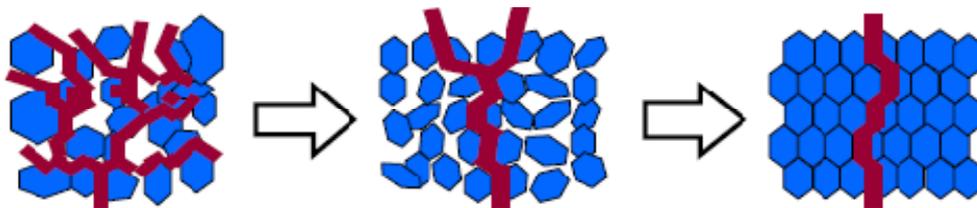
- Arcones congeladores hasta -80 °C.
- Ultracongeladores y cámaras criogénicas hasta -196 °C.
- Cámaras de heladicidad: inmersión en agua/congelación.
- Baños frío/calor para inmersión total o parcial.
- Equipos de difusibilidad: Frío/calor/vapor (DIFUTEST®).
- Cámaras climáticas y térmicas para ensayar equipos que por sus grandes dimensiones y pesos sea requerida su carga superior.

### 7.2.2 Utilización de cámaras criogénicas

En los materiales tratados criogénicamente existen dos cambios fundamentales son los encargados de mejorarlos significativamente:

- ✓ La conversión casi total de austenita a martensita.
- ✓ La precipitación de carburos finos.

Estos dos cambios en la estructura interna del elemento son los que generan que la pieza mejore sus propiedades, ya que ocurre una liberación de tensiones residuales, que se crearon debido a los cambios de fase que sufre el metal en su proceso de transformación, logrando una gran reducción en la tendencia a fallas por fatiga, ya que se eliminan las líneas internas formadas por estas tensiones residuales que promueven y hacen más propensa esta falla reduciendo la vida útil del material, esta es otra de las razones de las mejoras de la aplicación del tratamiento criogénico.



**Efectos de la aplicación de los tratamientos criogénicos:** es posible encontrar aplicaciones en prácticamente cualquier sector industrial: mecanizado, estampación, forja (en frío o caliente), inyección, soldadura, automoción, electrónica, agricultura, minería, industria del papel y la madera.

- ✓ Mayor resistencia a la fatiga y al desgaste.
- ✓ Mayor resistencia al corte y a la abrasión.
- ✓ Mejora en la estabilidad dimensional y eliminación de tensiones.
- ✓ Aumento de la conductividad térmica y eléctrica.
- ✓ Mejora la maquinabilidad de la pieza.
- ✓ Aumento general de la dureza.

En función del material considerado prevalecerán unos u otros efectos, pero en lo general todas presentan mejoras, cualquier pieza puede ser sujeta de mejora y de análisis.



**Aplicaciones en herramientas:** los aceros de herramientas constituyen el campo de aplicación más amplio, el proceso criogénico permite aumentar la vida útil de estas y se considera que estas aumentan el rendimiento económico de nuestro mantenimiento.

- ✓ **Aceros para trabajo en frío:** utilizados para herramientas que operaran a una temperatura menor a los 200 °C (400 °F). Los Grados de acero de la serie W y D presentaron una clara mejora en su dureza al ser tratadas a -100 °C (-150 °F).

- ✓ **Aceros inoxidables:** incrementa la tenacidad y genera una mejora en la resistencia a la corrosión y al desgaste elimina las microfisuras del material.
  
- ✓ **Aceros para trabajo en caliente** ayuda significativamente en los maquinados, en aplicaciones de forjado y extrusión los aceros una mejora en la vida útil de aproximadamente 50%.
  
- ✓ **Aceros de alta velocidad** generalmente usados en herramientas de corte o herramientas para rodamientos, presentan un incremento muy notorio en su protección al desgaste debido a la precipitación de carburos, aumentado la vida útil.

El proceso criogénico se convierte entonces es una valiosa herramienta para la reducción de costes y aumento de productividad.

### 7.2.3 cotización de cámara criogénica



#### **CRYOGENICS INTERNATIONAL**

14715 N. 78<sup>th</sup> Way, Suite 200  
Scottsdale, Arizona 85260  
Phone: 480-991-0299  
FAX: 480-991-0929  
E-Mail: [Info@cryogenicsinternational.com](mailto:Info@cryogenicsinternational.com)

**SYSTEM  
PRICING**

For more information, contact:  
Charles Baresford  
August 4, 2010

For: Luis Gomez  
Guatemala

[lr.gomezcorzo@gmail.com](mailto:lr.gomezcorzo@gmail.com)

Phone:

Cryogenics International, called the Seller, Proposes to furnish

**Luis Gomez**

called the Buyer, on the terms and conditions stated, the equipment herein specified for installation in

**Guatemala**

Detailed specifications set forth below or which may be attached hereto are a part of this proposal.

#### **EQUIPMENT:**

Cryogenics International Model CI-1600 computerized deep cryogenic treatment system with the following specifications:

##### **Components**

- An Industrial PLC controller controls the entire process from start to finish and allows custom entered profiles.
- A keypad allows the operator to enter the appropriate variables in order to start a treatment.
- Elevated parts rest for components
- Heating elements warm the chamber from below -300°F to above ambient
- Very precise sensors and strict control assures that spikes and dips will not occur
- Six foot armor jacketed, cryogenic, LN<sub>2</sub> transfer hose

##### **Materials**

- Steel outer chamber, powder coated
- Aluminum inner chamber for strength and LN<sub>2</sub> efficiency
- Six to seven inches of high density insulation to support heavy weights

**Features**

- Completely computerized
- Durable finish on outer chamber
- Uses liquid nitrogen as the cooling agent (completely environmentally friendly)
- Low operating pressures ( 22 psi )
- Internal chamber temperatures below -300°F

**Benefits**

- Very precise and thermally efficient
- Can safely process metals, carbides and plastics
- Low electrical consumption
- Low maintenance system
- Very strong chamber - Can support heavy weights
- Cycle Time - at least 38 hours
- May be connected to portable LN<sub>2</sub> cylinders or central LN<sub>2</sub> supplies.
- Systems come complete. Everything you need to start a process except the LN<sub>2</sub>.

**SYSTEM SPECIFICATIONS:**

Model Number	Interior Dimensions (Inches)	Exterior Dimensions (Inches)	Load Capacity (In Pounds)	Estimated Gross Weight	Unit Price
CI-1600	48L x 24W x 22H	62L x 42W x 41H	N/A	400 lbs.	\$29,995.00
<b>System Options</b>			<b>Price</b>		
115VAC, 60Hz			No Charge		
PLC controller			No Charge Special		
Extra Rtd (temperature sensor)			No Charge Special		
Estimated Shipment Date			Approx. Eight Weeks A.R.O.		
Total Price			<b>\$28,995.00</b>		

**PRICE:**

These prices include the one-time per system license fee. Any and all applicable taxes, duties, etc. are additional. These prices and terms are effective until June 30, 2010.

**TERMS:**

- Pre-pay via wire transfer. Purchaser pays any and all shipping charges, fees, duties. System is crated for shipment.

**WARRANTY:**

Cryogenics International, warrants all parts for a period of 1 (one) year from the system delivery date (for warranty purposes, we assume delivery date to be accomplished within two weeks of the shipping date). If, for any reason, delivery is delayed beyond two weeks, an adjustment will be made extending the warranty period.

**SERVICE AGREEMENT:**

This optional agreement which covers all parts and labor for 1 (one) year, must be paid two weeks before the expiration of the initial 1 (one) year warranty. The annual fee for the above systems is \$950.00.

➤ **Práctica de Laboratorio**

**TRATAMIENTO CRIOGÉNICO**  
**(Práctica No.1)**

Profesor		Pre-Reporte	20%	
Auxiliar		Examen	20%	
Nombre		Reporte	40%	
Hora y día de clase		Conclusiones	20%	
Grupo de Lab.		<b>TOTAL</b>	100%	

**PRE-REPORTE**

¿Qué es el un tratamiento criogénico?

¿Cuáles son las ventajas y desventajas de este tratamiento?

¿Cuáles son las temperaturas de trabajo de los tratamientos criogénicos?

¿Cuál es el líquido principal que se utiliza para llegar a temperaturas bajas?

**1. OBJETIVOS**

➤ Conocer el procedimiento de tratamientos criogénicos.

➤ Introducir al estudiante en un nuevo método, que mejora las propiedades de los materiales mediante su congelación.

**2. MATERIAL / EQUIPO**

➤ Cámara Criogénica

➤ Barra de acero 1018

➤ Microscopio electrónico de barrido

### **3. PROCEDIMIENTO**

1. Determinar las propiedades de la barra de acero 1018 sin tratar y el tipo de grano en el microscopio de barrido electrónico.
2. Instrucciones del encargado de laboratorio sobre el manejo y utilización de la cámara criogénica.
3. Introducir la barra de acero 1018 en la cámara criogénica sumergiéndola completamente.
4. Retirar la barra de la cámara criogénica y determinar el cambio de sus propiedades y del grano en el microscopio de barrido electrónico.

### **4. RESULTADOS**

1. Dureza inicial de la barra de acero.
2. Tiempo de duración del tratamiento.
3. Temperatura mínima y máxima del tratamiento.
4. Dureza final de la barra de acero.
5. Investigación sobre las características y propiedades que se mejoran en una pieza por medio del tratamiento criogénico.

## 5. DESCRIPCIÓN

Foto	Descripción del Proceso

## 6. CONCLUSIONES



## CONCLUSIONES

1. La creación de una relación entre la Universidad y las industrias guatemaltecas, trae beneficio para ambas partes, debido a que los estudiantes aumentan su conocimiento práctico por medio de los ensayos y las industrias guatemaltecas reciben un servicio, el cual no lo tienen en el país.
2. El desarrollo y crecimiento académico de la educación superior en la escuela de mecánica se logra por medio de la involucración de sus estudiantes en la práctica, incorporándolos a laboratorios directamente relacionados con los grandes problemas mecánicos que se enfrentan las industrias nacionales.
3. La integración de laboratorios llevados de la mano de la teoría permitirá a los estudiantes conocer con mayor profundidad, los temas de estudio logrando al mismo tiempo una experiencia práctica con la cual no se cuenta.
4. Un centro de investigaciones enfocado al área de materiales, permite que la Universidad de San Carlos de Guatemala logre contratos con industrias guatemaltecas que necesiten estudios en sus empresas, y así se da a conocer la capacidad de los estudiantes por medio del servicio brindado.

5. El estudio para el desarrollo de un centro de investigaciones cuenta con pro formas o cotizaciones del equipo necesario para la investigación, parte fundamental debido a que para la inicialización de todo proyecto es necesario ver el presupuesto a invertir.

## RECOMENDACIONES

1. La mejor forma de presentar una buena imagen de los conocimientos que se adquieren dentro de la Universidad es por medio de la práctica, la implementación de laboratorios que presten un servicio a la industria guatemalteca, permite dar a conocer la aptitud de los egresados de la carrera de Ingeniería Mecánica para la incorporación laboral.
2. Mejorar la educación a través de la reestructuración de los laboratorios e implementar equipos para análisis de materiales, que le permita a los estudiantes adquirir experiencia en la parte práctica de su carrera.
3. Los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Mecánica son un grupo de personas con el deseo de poner en práctica los conocimientos adquiridos, por lo que es necesario implementar actividades prácticas que permita adquirir la habilidad técnica que la carrera exige.
4. Un centro de investigaciones debe contar con un grupo de personas comprometidas no solo con la investigación, sino también con la universidad y con el país debido a que esta es la manera por medio de la cual los países logran desarrollarse y crecer.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Angiolani, Argeo. Introducción a la química industrial: fundamentos químicos y tecnológicos, Pág. 412-417
2. Appold, Hans. Tecnología de los metales para profesiones técnico-mecánicas, pag. 129 y 130
3. Barrientos García, José Miguel. Guía de prácticas para observación en el microscopio electrónico, en el laboratorio de metalografía, pág. 12
4. Bello, Andrés. Tecnología de los metales y procesos de manufactura, Universidad Católica, Caracas 2006. Pag. 81
5. Fuentes, Arderiu. Bioquímica clínica y patología molecular, Volumen 1 segunda edición, X. pág. 259
6. Gonzales Velázquez, José Luis. Metalurgia Mecánica, pág. 176,177
7. P. Chen, T. Malone, R. Bond, P. Torres, "Effects of cryogenic treatment on the residual stress and the mechanical properties of an aerospace aluminium alloy".
8. Pinto Lima, Raynner Rolando. Manual para el desarrollo del Laboratorio del curso de Procesos de Manufactura Dos, para Estudiantes de Ingeniería Mecánica, Pág. 111 a 125
9. R. L. Bernau, Elementos de metalografía y de acero al carbono, Editorial Andrés Bello. Pág. 23 a 31
10. Schmid, Kalpakjian. Manufactura, ingeniería y tecnología, cuarta edición, pág. 130
11. Saln Ballesteros, María Nuria. Tecnología de proceso y transformación de materiales, pág. 74,75

12. Wikimedia Foundation, Inc, Welding, Estados Unidos, 1993.  
Consultado el 18 de mayo de 2010 disponible en  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Acero#Caracter.C3.ADsticas\\_mec.C3.A1nicas\\_y\\_tecnol.C3.B3gicas\\_del\\_acero](http://es.wikipedia.org/wiki/Acero#Caracter.C3.ADsticas_mec.C3.A1nicas_y_tecnol.C3.B3gicas_del_acero)
13. [www.tecnologiaindustrial.info/index.php?main\\_page=document\\_general\\_info&products\\_id=401](http://www.tecnologiaindustrial.info/index.php?main_page=document_general_info&products_id=401), consultado el 18 de mayo de 2010
14. [www.emison.com/hornos%20de%20mufla.htm](http://www.emison.com/hornos%20de%20mufla.htm), consultado el 18 de mayo de 2010
15. [www.aprenda.org.ar/normas\\_end.htm](http://www.aprenda.org.ar/normas_end.htm), consultado el 18 de mayo de 2010
16. [www.pesajeprofesional.cl/RX.html](http://www.pesajeprofesional.cl/RX.html), consultado el 18 de mayo de 2010
17. [WWW.DIATEC-CA.COM](http://WWW.DIATEC-CA.COM), consultado el 18 de mayo de 2010

## ANEXOS

**Tabla XVIII:** Nivel de calidad

SÍMBOLO DEL NIVEL	NIVEL DE CALIDAD
<b>D</b>	Moderado
<b>C</b>	Intermedio
<b>B</b>	Riguroso

**Tabla XIX:** Imperfecciones en radiografías y su nivel de calidad

NÚMERO	DESIGNACIÓN	NIVEL DE CALIDAD
<b>2011 Aa</b>	Porosopladura de forma sensiblemente esférica.	B No hay más del 1% del área proyectada o del área superficial de rotura
<b>4011</b>	Falta de fusión, Falta de fusión afectando a los bordes a unir.	No se permite
<b>402 D</b>	Falta de penetración Ausencia parcial de fusión de los bordes, que da lugar a una discontinuidad entre los mismo.	No se permite
<b>5011 F</b>	Mordeduras Falta de metal, en forma de surco de longitud variable, en la arista de	C Se requiere una transición

	contacto de la cara de la soldadura con el metal base	gradual $h \leq 1\text{mm}$
<b>515</b>	Rechupe de raíz (concavidad) Falta de espesor en la raíz de soldadura, debido a una contracción del metal fundido	D Se requiere una transición gradual $h \leq 1.5\text{mm}$
<b>602</b>	Proyecciones Gotas de metal fundido proyectadas durante el soldeo y que se adhieren sobre el metal base.	No influye La aceptación depende de las aplicaciones

**Tabla XX: Rayos X**

DESCRIPCIÓN	SOLDEO TIG ACERO Inoxidable Austentico	SOLDEO MIG- MAG Acero F-1110	SOLDEO ESPECIAL Acero F- 1110
<b>Espesor chapa (mm)</b>	2	3	3
<b>Espesor cordón (mm)</b>	2.5	7.5	5.1
<b>Densidad</b>	1.5	1.5	1.5
<b>Tensión aceleración</b>	95	105	100
<b>Intensidad (Ma)</b>	3	3	3
<b>Distancia foco-película</b>	700	700	700
<b>Tiempo exposición</b>	2'43"	4'	4'