

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**



**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE**

Previo a la obtención de título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

---

**“ESTUDIO DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE TEMPERATURA  
APLICADOS EN TRATAMIENTOS TÉRMICOS Y SU INCIDENCIA EN  
LAS PROPIEDADES DE LOS ACEROS EN EL LABORATORIO DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA”**

---

**Autor: Jaime Enrique Toasa Peralta**

**TUTOR: Ing. Santiago Villacís**

**AMBATO – ECUADOR  
2012**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del presente Trabajo Estructurado de Manera Independiente previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, bajo el tema “**ESTUDIO DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE TEMPERATURA APLICADOS EN TRATAMIENTOS TÉRMICOS Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES DE LOS ACEROS EN EL LABORATORIO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA**” ,ejecutado por el Señor Jaime Enrique Toasa Peralta, egresado de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato, CERTIFICO que el presente trabajo de investigación fue elaborado en su totalidad por el autor y ha sido concluida bajo el plan de tesis aprobado.

Ambato, Julio del 2012

-----

Ing. Santiago Villacís

Tutor

## AUTORÍA

Los criterios emitidos en el trabajo de investigación como también los contenidos, ideas análisis, conclusiones y propuesta bajo el tema **“ESTUDIO DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE TEMPERATURA APLICADOS EN TRATAMIENTOS TÉRMICOS Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES DE LOS ACEROS EN EL LABORATORIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA”** son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autor del presente proyecto de grado.

Ambato, Julio del 2012

-----  
Jaime Enrique Toasa Peralta  
CI: 0503065591  
Autor

## **DEDICATORIA**

El trabajo inmerso en el sacrificio, se ve reflejado en el momento de saborear un triunfo anhelado por toda la época universitaria; esfuerzo que debo principalmente al todo poderoso, por darme el don de la sabiduría, entendimiento y perseverancia, para de esta manera dedicar a mis padres, mis hermanas ,y a mi esposa , quienes me enseñaron el verdadero sentido de la superación personal y profesional, legando una herencia invaluable que entrego en este proyecto a la razón de mi vivir y existir como es mi hijo Justin Alexander.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por ser el ente gestor de mi superación y culminación en mi tarea profesional; a las personas que con sus conocimientos y experiencias, han sabido impartir en mí la enseñanza necesaria para la ejecución de un trabajo, entre ellos puedo destacar: Ing. Santiago Villacís, Ing. Segundo Espín, Ing. Mauricio Carrillo.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>A. PÁGINAS PRELIMINARES</b>	
Página de título portada.....	I
Página de aprobación por el Tutor.....	II
Página de autoría de la Tesis.....	III
Página de dedicatoria.....	IV
Página de agradecimiento.....	V
Índice general de contenidos.....	VI
Índice de cuadros y gráficos.....	VII
Resumen ejecutivo.....	VIII
<b>B. TEXTO</b>	
<b>CAPÍTULO 1. EL PROBLEMA</b>	
1.1. Tema.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.2.1. Contextualización.....	1
1.2.2. Análisis crítico.....	2

1.2.3. Prognosis.....	3
1.2.4. Formulación del problema.....	3
1.2.5. Interrogantes (subproblemas).....	3
1.2.6. Delimitación del objeto de investigación.....	3
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. General.....	5
1.4.2. Específicos.....	5
 <b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1. Antecedentes investigativos.....	6
2.2. Fundamentación filosófica.....	6
2.3. Fundamentación legal.....	7
2.4. Fundamentación teórica.....	9
2.5. Categorías fundamentales.....	47
2.6. Hipótesis.....	48
2.7. Señalamiento de variables.....	48

### **CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA**

3.1. Modalidad básica de la investigación.....	49
3.2. Nivel o tipo de investigación.....	50
3.3. Población y muestra.....	50
3.4. Operacionalización de variables.....	51
3.5. Plan de recolección de información.....	55
3.6. Plan de procesamiento de la información.....	55

### **CAPÍTULO 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

4.1. Análisis de los resultados.....	56
4.2. Interpretación de datos.....	57
4.3. Verificación de hipótesis.....	63

### **CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. Conclusiones.....	100
5.2. Recomendaciones.....	102

### **CAPÍTULO 6. PROPUESTA**

6.1. Datos informativos.....	103
6.2. Antecedentes de la propuesta.....	103



6.3. Justificación.....	104
6.4. Objetivos.....	104
6.5. Análisis de factibilidad.....	105
6.6. Fundamentación.....	109
6.7. Metodología. Modelo operativo.....	155
6.8. Administración.....	156
6.9. Previsión de la evaluación.....	157
 <b>C. MATERIALES DE REFERENCIA</b>	
1. Bibliografía.....	161
2. Anexos.....	162

## ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

CONTENIDO		PÁGINA
Figura 2.1	Control Lazo Abierto	15
Figura 2.2	Control Lazo Cerrado	15
Figura 2.3	Control On/Off	16
Figura 2.4	Respuesta en el tiempo al actuar un Control PID	17
Figura 2.5	Termocupla	18
Figura 2.6	Termistores	22
Figura 2.7	Controlador De Temperatura	33
Figura 2.8	Horno eléctrico	34
Figura 2.9	Ladrillos Refractarios	39
Figura 2.10	Aislamiento Térmico	41
Figura 2.11	Mortero Refractario	42
Grafico 2.1	Red de Categorías Fundamentales	47
Gráfico 4.1	Temperatura Vs Tiempo medida con el controlador de temperatura	65
Gráfico 4.2	Temperatura Vs Tiempo medida con el Pirómetro	66
Gráfico 4.3	Temperatura Vs Tiempo medida con la placa electrónica	68
Gráfico 4.4	Temperatura Vs Tiempo medida con el Pirómetro	68
Figura 4.1	Diagrama de transformación del acero AISI 01	99

## ÍNDICE DE TABLAS

CONTENIDO	PÁGINA
Tabla 2.1 Tipos De Ladrillos Refractarios	39
Tabla 2.2 Tipos De Aislantes	41
Tabla 2.3 Tipos De Morteros Refractarios	42
Tabla 4.5 Dispositivos de control	60
Tabla 4.6 Tipos de Termocuplas	61
Tabla 4.7 Características Control ON/OFF y P.I.D	62
Tabla 4.12 Medición de la temperatura con el controlador tipo E5CN OMRON.	64
Tabla 4.13 Medición de la temperatura con la placa electrónica	67
Tabla 4.14 Evaluación del Acero AISI 01 como viene de fábrica	70
Tabla 4.15 Evaluación de la Microestructura del Acero AISI 01 como viene de fábrica	71
Tabla 4.16 Evaluación de la Dureza del Acero AISI 01 como viene de fábrica	72
Tabla 4.17 Especificaciones del tratamiento térmico con aceite 20w50	73
Tabla 4.18 Microestructura del Acero AISI 01 templada en aceite SAE 20W50.	74
Tabla 4.19 Dureza del Acero AISI 01 templado en Aceite SAE 20W50	75
Tabla 4.20 Especificaciones del tratamiento térmico con aceite SAE 40	76
Tabla 4.21 Microestructura del Acero AISI 01 templada en aceite SAE 40	77
Tabla 4.22 Dureza del Acero AISI 01 templado en Aceite SAE 40	78
Tabla 4.23 Especificaciones del tratamiento térmico con aceite quemado SAE 20W50.	79

Tabla 4.24	Microestructura del Acero AISI 01 templada en aceite quemado SAE 20W50.	80
Tabla 4.25	Dureza del Acero AISI 01 templado en aceite quemado SAE 20W50	81
Tabla 4.26	Especificaciones del tratamiento térmico con Agua	82
Tabla 4.27	Microestructura del Acero AISI 01 templada en Agua	83
Tabla 4.28	Dureza del Acero AISI 01 templado en Agua	84
Tabla 4.29	Especificaciones del tratamiento térmico en aceite 20w50 con la placa electrónica	85
Tabla 4.30	Microestructura del Acero AISI 01 templada en aceite SAE 20W50 con la placa electrónica.	86
Tabla 4.31	Dureza del Acero AISI 01 templado en Aceite SAE 20W50 con la placa electrónica.	87
Tabla 4.32	Especificaciones del tratamiento térmico con aceite SAE 40 con la placa electrónica.	88
Tabla 4.33	Microestructura del Acero AISI 01 templada en aceite SAE 40 con la placa electrónica.	89
Tabla 4.34	Dureza del Acero AISI 01 templado en Aceite SAE 40 con la placa electrónica.	90
Tabla 4.35	Especificaciones del tratamiento térmico con aceite quemado SAE 20W50 con la placa electrónica.	91
Tabla 4.36	Microestructura del Acero AISI 01 templada en aceite quemado SAE 20W50 con la placa electrónica.	92
Tabla 4.37	Dureza del Acero AISI 01 templado en aceite quemado SAE 20W50 con la placa electrónica.	93
Tabla 4.38	Especificaciones del tratamiento térmico con Agua con la placa electrónica.	94
Tabla 4.39	Microestructura del Acero AISI 01 templada en Agua con la placa electrónica.	95

Tabla 4.40	Dureza del Acero AISI 01 templado en Agua mediante el uso de la placa electrónica.	96
Tabla 4.41	Dureza del Acero AISI 01 templado mediante el uso controlador de temperatura tipo E5CN OMRON.	98
Tabla 4.42	Dureza del Acero AISI 01 templado mediante el uso de la placa electrónica.	98

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de investigación detalla el estudio de sistemas automatizados de temperatura aplicados en tratamientos térmicos y su incidencia en las propiedades de los aceros, para lo cual se construyó un horno tipo mufla con el sistema de control más adecuado mediante el uso de dispositivos existentes en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, el mismo que va a ser implementado en el Laboratorio de Materiales, el mismo que se podrá realizar prácticas de diferentes tratamientos térmicos.

Otro motivo para la realización de este estudio fue el interés de investigar los materiales que conforman el horno eléctrico, el mismo que permita tener un alta eficiencia y consiguiendo un ahorro energético considerable.

Se diseñó y construyó un horno eléctrico tipo mufla, el cual tiene en su interior la cámara de calentamiento que se encuentra realizada con ladrillo refractario Erecos U33 seguido de un ladrillo aislante poroso Erecos U26, el mismo que tiene las siguientes dimensiones: 9x4,5x2,5 pulgadas; además se utilizó como material aislante por sus características la fibra cerámica lo cual soporta temperaturas de hasta 800 grados centígrados. La confinación de las resistencias se realizó en un arreglo tipo bóveda las mismas que están ubicadas en las paredes laterales de la cámara de calentamiento. Para las resistencias se utilizó un material especial para hornos de alta temperatura llamado Nicromo, que es una aleación Níquel-Cromo y está diseñado para trabajar con temperaturas de hasta 1200 grados centígrados, implementado en forma de espirales con un diámetro interior de 10 mm, las resistencias están conectadas a un circuito eléctrico el cual consta de un controlador de temperatura tipo E5CN OMRON, contactor tipo J7K-BM-10 OMRON, temporizador Tipo H3BA OMRON y una termocupla tipo k con una longitud de 12 pulgadas rígida.

El horno eléctrico tiene una cámara interna útil de 170mm de alto, 210mm de ancho y 300 mm de profundidad, además de esto tiene una potencia de 3800 W que funciona con un voltaje de 220 V alcanzando una temperatura de 900 grados centígrados en tres horas y media, siendo óptimo para realizar cualquier tratamiento térmico en acero.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1. TEMA DE INVESTIGACIÓN**

**ESTUDIO DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE TEMPERATURA APLICADOS EN TRATAMIENTOS TÉRMICOS Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES DE LOS ACEROS EN EL LABORATORIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN**

La automatización a nivel mundial ha revolucionado las industrias, actualmente cada uno de los equipos y máquinas tienen sistemas de control automático apropiado de acuerdo al funcionamiento de cada una de ellas para mejorar su rendimiento y eficiencia, con esto se ha logrado disminuir costos de mantenimiento y operación de las mismas, se ha reducido consumo de energía y corregido las condiciones de trabajo, proporcionando así un ambiente laboral seguro y aumentando la capacidad de producción y la disminución de entrega a tiempo de un producto de calidad.

Universidades en el Ecuador y más concretamente la Universidad Técnica de Ambato ha procurado no quedarse fuera de este avance tecnológico, en el campo de automatización de procesos, con el fin de optimizar recursos económicos, humanos y materiales en el ámbito industrial, mediante el uso de dispositivos



como tarjetas, PLC's, sensores, elementos eléctricos y electrónicos creados para dicho efecto.

La carrera de ingeniería Mecánica ha hecho grandes esfuerzos para la adquisición de nuevos dispositivos y equipos para el laboratorio acorde con la tecnología actual sin embargo existe la necesidad de automatizar ciertos equipos existentes en el laboratorio para así poder dar servicio a muchas empresas que tienen la necesidad de utilizar materiales con características especiales para usos específicos, lo cual se podrían facilitar con la utilización de los equipos existentes en el Laboratorio de materiales.

### **1.2.3 ANÁLISIS CRÍTICO**

En nuestro país al no realizarse estudios e investigaciones, principalmente sobre nueva maquinaria tecnificada, implica a que exista un deficiente desarrollo tecnológico en lo que se refiere a tratamientos térmicos en el acero, ya que hoy en día es uno de los procesos más importantes en la industria.

El desarrollo investigativo en el área de tratamientos térmicos limitado, se da a que en el horno existente en el laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica el control se lo realiza de forma manual con lo cual se tiene una lectura errónea, lo que conlleva a que se obtiene resultados inesperados en los materiales sometidos a tratamientos térmicos, otro factor que es muy importante en un tratamiento térmico es el tiempo de permanencia a dicha temperatura lo cual este horno no cuenta con algún dispositivo que se pueda controlar dicho tiempo, por esta razón se ha visto necesario automatizar estos procesos con el fin de evitar posibles errores.

En definitiva el estudio de sistemas automatizados de temperatura, se ha fundamentado en las necesidades con las que cuenta la Facultad, además permitirá tener un control más preciso de la temperatura y el tiempo de permanencia al momento de realizar un tratamiento térmico en el acero.

### **1.2.3 PROGNOSIS**

Si no se realiza el estudio de sistemas automatizados de temperatura aplicados en los tratamientos térmicos no se podrá determinar que sucede con las propiedades de los aceros al momento de realizar un tratamiento térmico.

### **1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿El estudio de sistemas automatizados de temperatura aplicados en tratamientos térmicos permitirá realizar ensayos de diferentes tipos de aceros para comparar la microestructura y dureza después de realizar este proceso?

### **1.2.5 INTERROGANTES (SUBPROBLEMAS)**

- ¿Qué tipos de sistemas de control automático existen para el funcionamiento de hornos eléctricos?
- ¿Qué características térmicas tienen los hornos de mufla para realizar tratamientos térmicos en acero?
- ¿Qué sistema de control de temperatura será el más adecuado para el funcionamiento del horno?

### **1.2.6 DELIMITACIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.2.6.1 De Contenido.**

Las materias que están relacionadas con nuestro tema de investigación son las siguientes:

- Sistemas Mecánicos I y II
- Sistemas de Energía

- Electrónica Industrial
- Sistemas de Medición y Control Industrial I y II
- Ingeniería de Materiales I y II
- Procesos de Fabricación I y II

#### **1.2.3.2 Delimitación Espacial.**

El proyecto se realizará en Ecuador, provincia del Tungurahua, específicamente en el laboratorio de materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

#### **1.2.3.3 Delimitación Temporal.**

Este proyecto se desarrollará en el periodo comprendido entre los meses, desde Julio del 2011 hasta Julio del 2012.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

El presente proyecto que trata del Estudio de sistemas automatizados de temperatura aplicados en tratamientos térmicos tiene como finalidad la implementación de nuevos equipos para el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

De esta manera se contribuye con los estudiantes y docentes de la Carrera de Ingeniería Mecánica, realicen las prácticas correspondientes en los Laboratorios mejorando así su nivel de educación, y con ello incrementar los conocimientos teóricos y prácticos, además se podrá manejar con mayor facilidad y exactitud el horno de tal manera que se obtendrán los resultados esperados al momento de realizar tratamientos térmicos en el Acero.

El estudio de sistemas automatizados de temperatura en el laboratorio de Ingeniería Mecánica, creará un ambiente de interés tanto en los estudiantes como

profesores, llevando a la investigación de maquinaria tecnificada, esto principalmente podrá contribuir en la construcción de mejores máquinas que podrán ser incorporados en el campo de la industria.

Además este estudio es factible realizarlo, se cuenta con la bibliografía, talleres y equipos para el desarrollo del mismo así como también se encuentran disponibles todos los materiales necesarios en el mercado nacional.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

- Estudiar los sistemas automatizados de temperatura para un Horno Eléctrico Tipo Mufla para ensayos de Tratamientos Térmicos en los Aceros.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar qué tipos de sistemas de control automático existen para el buen funcionamiento de hornos eléctricos tipo mufla.
- Determinar las características térmicas que tienen los hornos eléctricos tipo mufla para realizar tratamientos térmicos en acero.
- Proponer el sistema de control de temperatura adecuado para el funcionamiento del horno.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

El presente trabajo investigativo se basará en documentos relacionados con el tema que son de importancia para comprender el funcionamiento de este sistema.

En la biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato no existen investigaciones previas que involucren el tema que actualmente está en estudio; por lo contrario se encontró algunos proyectos relacionados con la automatización de diferentes herramientas de laboratorio.

- Auditoría Energética y Análisis de Combustión de quemadores y Aislamiento térmico de Paredes para un horno de Calentamiento de Palanquilla Bendotti, David Castro, 2007.
- Diseño y Construcción de la maquina Jominy para ensayos de Templabilidad de los Aceros bajo Normas ASTM, Milton Villacis, 2007.

#### **2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA**

En las últimas generaciones se ha llevado un gran avance científico en todas las áreas, éste es el motivo que ha llevado a la ingeniería de materiales a desarrollarse y a sufrir un gran avance, motivo por el cual obliga al ingeniero Mecánico a ponerse al día en lo referente al estudio de los tratamientos térmicos, ya que es un

campo de gran utilidad para el desarrollo industrial en cuanto a elección de materiales se refiere.

Mediante este estudio se pretende obtener un sistema automatizado de temperatura adecuado, con el fin de poder controlar el tiempo, la temperatura al momento de realizar un tratamiento térmico además se busca que el control de temperatura sea de fácil manejo por parte de los estudiantes y profesores.

### **2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL**

Se basa en el fundamento constitucional de la ley de la Educación Superior de la República del Ecuador donde indica la necesidad de investigación científica de los establecimientos de nivel superior.

Sección Novena

De la Ciencia y Tecnología

Art.80.-El estado fomentará la ciencia y la tecnología, especialmente en todos los niveles educativos, dirigidos a mejorar la productividad, el manejo sustentable de los recursos naturales y a satisfacer las necesidades básicas de la población.

Garantizará la libertad de las actividades científicas y tecnológicas y la protección legal de los resultados, así como el conocimiento ancestral colectivo.

La investigación científica y tecnológica se llevará a cabo en las universidades, escuelas politécnicas, institutos superiores técnicos y tecnológicos y centros de investigación científica, en coordinación con los sectores productivos cuando sea pertinente, con el organismo público que establezca la ley, la que regulará también el estatuto del investigador científico.

También se tomará en consideración las siguientes normas y especificaciones internacionales que nos ayudaran a realizar los ensayos de la microestructura, dureza en el laboratorio de la Carrera de Ingeniería Mecánica perteneciente a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica:

-Norma ASTM designación A255-48T específicamente dedicada a ensayos de templabilidad del acero.

-Norma ASTM E-18 se refiere a los métodos de prueba estándar para dureza Rockwell y dureza Rockwell superficial de materiales metálicos.

-Norma ASTM E-140 Tablas de dureza estándar de conversión para la relación entre los metales dureza Brinell, dureza Vickers, dureza Rockwell, dureza superficial y dureza Knoop.

-Norma ASTM E-3 Práctica estándar para la preparación de muestras metalográficas.

-Norma ASTM E-112 Métodos de prueba estándar para determinar el tamaño de grano promedio de un acero.

## **2.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.4.1 Automatización**

El termino automatización también se ha utilizado para describir sistemas no destinados a la fabricación en los que dispositivos programados o automáticos pueden funcionar de forma independiente o semiindependiente del control humano.

En comunicaciones y aviación dispositivos como los equipos automáticos de conmutación telefónica, los pilotos automáticos y los sistemas automatizados de guía y control se utilizan para efectuar diversas tareas con más rapidez o mejor de lo que podría hacerlo un ser humano en el mismo tiempo.

### **2.4.2 Automatización Industrial**

Es el uso de sistemas o elementos computarizados para controlar maquinarias y/o procesos industriales, substituyendo a operadores humanos.

El alcance va más allá que la simple mecanización de los procesos ya que esta provee a operadores humanos mecanismos para asistirlos en los esfuerzos físicos del trabajo, la automatización reduce ampliamente la necesidad sensorial y mental del humano.

La automatización como una disciplina de la ingeniería es mas amplia que un mero sistema de control, abarca la instrumentación industrial, que incluye los sensores y trasmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> [www.juntadeandalucia.es/.../SISTEMAS%20AUTOMATICOS%20DE%20CONTROL.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/.../SISTEMAS%20AUTOMATICOS%20DE%20CONTROL.pdf)



### **2.4.3 Sistema Automatizado**

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

### **2.4.4 Partes de un sistema automatizado**

- Parte Operativa
- Parte de Mando

#### **2.4.4.1 La parte operativa**

Es la parte que actúa directamente sobre la máquina, son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación adecuada.

Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores, y los captadores como fotodiodos, finales de carrera.

#### **Detectores y Captadores**

Como las personas necesitan de los sentidos para percibir, lo que ocurre en su entorno, los sistemas automatizados precisan de los transductores para adquirir información de:

- La variación Transductor todo o nada: Suministran una señal binaria claramente diferenciada. Los finales de carrera son transductores de este tipo de ciertas magnitudes físicas del sistema.
- El estado físico de sus componentes.

Los dispositivos encargados de convertir las magnitudes físicas en magnitudes eléctricas se denominan transductores. Se clasifican en función del tipo de señal.

- Transductores numéricos: Transmiten valores numéricos en forma de combinaciones binarias. Los encoders son transductores de este tipo.
- Transductores analógicos: suministran una señal continua que es fiel reflejo de la variación de la magnitud física medida.

### **Accionadores**

Es el elemento final de control que, en respuesta a la señal de mando que recibe, actúa sobre la variable o elemento final del proceso.

Se clasifican en:

- Eléctricos
- Neumáticos
- Hidráulicos

#### **2.4.4.2 La parte de mando**

Suele ser un autómatas programable (tecnología programada), aunque hasta hace bien poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada). En un sistema de fabricación automatizado el autómatas programable está en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado.

#### **2.4.5 Tecnologías Cableadas**

Con este tipo de tecnología, el automatismo se realiza interconectando los distintos elementos que lo integran. Su funcionamiento es establecido por los elementos que lo componen y por la forma de conectarlos.

Los dispositivos que se utilizan en las tecnológicas cableadas para la realización del automatismo son:

- Relés electromagnéticos.
- Módulos lógicos neumáticos.
- Tarjetas electrónicas.

#### **2.4.6 Tecnologías programadas**

Con los avances en el campo de los microprocesadores de los últimos años han favorecido la generalización de las tecnologías programadas en la realización de automatismos. Los equipos realizados para este fin son:

- Los ordenadores
- Los autómatas programables

**El ordenador.**-Son parte de mando de un automatismo presenta la ventaja de ser altamente flexible a modificaciones de proceso. Pero al mismo tiempo, y debido a su diseño no específico para su entorno industrial, resulta un elemento frágil para trabajar en entornos de líneas de producción.

**Un autómata programable.**-Es un elemento robusto diseñado especialmente para trabajar en ambientes de talleres, con casi todos los elementos del ordenador.

#### **2.4.7 Objetivos de la Automatización**

- Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costos de la producción y mejorando la calidad de la misma.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad.
- Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.

- Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.
- Integrar la gestión y producción.

#### **2.4.8 Ventajas del sistema de Automatización**

La automatización de un proceso frente al control manual del mismo proceso, brinda ciertas ventajas y beneficios de orden económico, social, y tecnológico, pudiéndose resaltar las siguientes:

- Se asegura una mejora en la calidad del trabajo del operador y en el desarrollo del proceso, esta dependerá de la eficiencia del sistema implementado.
- Se obtiene una reducción de costos, puesto que se racionaliza el trabajo, se reduce el tiempo y dinero dedicado al mantenimiento.
- Existe una reducción en los tiempos de procesamiento de información.
- Flexibilidad para adaptarse a nuevos productos (fabricación flexible y multifabricación).
- Se obtiene un conocimiento más detallado del proceso, mediante la recopilación de información y datos estadísticos del proceso.
- Factibilidad técnica en procesos y en operación de equipos.
- Aumento en el rendimiento de los equipos y facilidad para incorporar nuevos equipos y sistemas de información.
- Disminución de la contaminación y daño ambiental.
- Aumento en la seguridad de las instalaciones y la protección a los trabajadores.

#### **2.4.9 Requisitos que debe cumplirse la Automatización**

Existen ciertos requisitos de suma importancia que debe cumplirse al automatizar, de no cumplirse con estos se estaría afectando las ventajas de la automatización, y

por lo tanto no se podría obtener todos los beneficios que esta brinda, estos requisitos son los siguientes:

- **Compatibilidad electromagnética:** Debe existir la capacidad para operar en un ambiente con ruido electromagnético producido por motores y máquina de revolución.
- **Expansibilidad y escalabilidad:** Es una característica del sistema que le permite crecer para atender las ampliaciones futuras de la planta, o para atender las operaciones no tomadas en cuenta al inicio de la automatización.
- **Manutención:** Se refiere a tener disponible por parte del proveedor, un grupo de personal técnico capacitado dentro del país, que brinde el soporte técnico adecuado cuando se necesite de manera rápida y confiable.
- **Sistema abierto:** Los sistemas deben cumplir los estándares y especificaciones internacionales. Esto garantiza la interconectabilidad y compatibilidad de los equipos a través de interfaces y protocolos, también facilita la interoperabilidad de las aplicaciones y el traslape de un lugar a otro.<sup>2</sup>

#### 2.4.10 Clasificación de los sistemas de control

Los sistemas de control se clasifican en sistemas de lazo abierto y lazo cerrado.

##### 2.4.10.1 Control de Lazo Abierto

Un sistema de control en lazo o bucle abierto es aquél en el que la señal de salida no influye sobre la señal de entrada. La exactitud de estos sistemas depende de su

---

<sup>2</sup> [www.juntadeandalucia.es/.../SISTEMAS%20AUTOMATICOS%20DE%20CONTROL.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/.../SISTEMAS%20AUTOMATICOS%20DE%20CONTROL.pdf)

calibración, de manera que al calibrar se establece una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada.

El diagrama de bloque de un sistema en lazo abierto es:

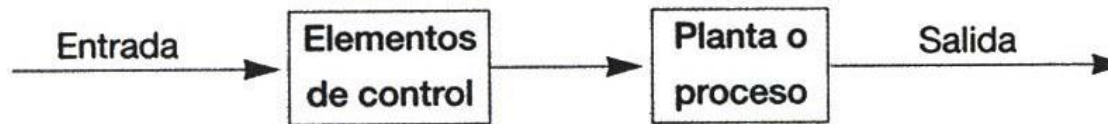


Figura 2.1 Control Lazo Abierto

Fuente: [http://www.sapiensman.com/control\\_automatico.html](http://www.sapiensman.com/control_automatico.html)

#### 2.4.10.2 Control de Lazo Cerrado

Un sistema de control de lazo cerrado es aquél en el que la acción de control es, en cierto modo, dependiente de la salida. La señal de salida influye en la entrada. Para esto es necesaria que la entrada sea modificada en cada instante en función de la salida esto se consigue por medio de lo que llamamos realimentación o retroalimentación, la realimentación es la propiedad de un sistema en lazo cerrado por la cual la salida (o cualquier otra variable del sistema que esté controlada) se compara con la entrada del sistema (o una de sus entradas), de manera que la acción de control se establezca como una función de ambas.

El diagrama de bloques correspondiente a un sistema de control en lazo cerrado es:

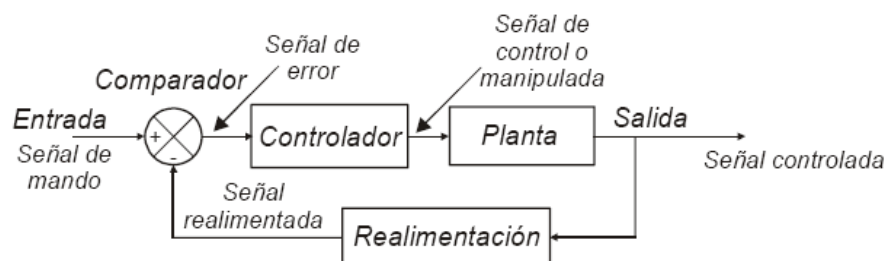


Figura 2.2 Control Lazo Cerrado

Fuente: [http://www.sapiensman.com/control\\_automatico.html](http://www.sapiensman.com/control_automatico.html)

### 2.4.10.3 Control On/Off

En aquellos procesos en los que la demanda es intermitente y la aplicación es simple funciona muy bien, dependiendo de su histéresis. En este control el ajuste, se realiza a través de la sensibilidad ( Histéresis ). La histéresis previene que la salida no conmute rápidamente de “Off” a “On” , si la histéresis está seteada en un rango muy estrecho la salida comenzaría a cambiar de estado tan rápido que producirá en una disminución del tiempo de vida útil de algún relé o contacto y, además, la elevación de temperatura en los componentes. Para ver como se comporta mejor el proceso debemos tomar en cuenta que a mayor histéresis existe una mayor inercia por lo tanto, el proceso va a variar más que con menor histéresis.

El control on-off muchas veces es apropiado para mantener la variable controlada del proceso cerca del valor de la referencia que fue especificada, pero típicamente resulta en un sistema donde las variables oscilan.<sup>3</sup>

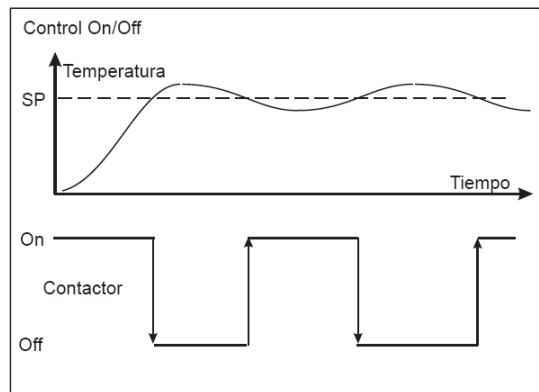


Figura 2.3 Control On/Off

Fuente: [http://www.sapiensman.com/control\\_automatico.html](http://www.sapiensman.com/control_automatico.html)

<sup>3</sup> Fuente: [http://www.sapiensman.com/control\\_automatico.html](http://www.sapiensman.com/control_automatico.html)

#### 2.4.10.4 Control PID

Es un mecanismo de control por realimentación que se utiliza en sistemas de control industriales, un controlador PID corrige el error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener calculándolo y luego sacando una acción correctora que puede ajustar al proceso acorde. El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. Este tipo de control es utilizado donde la respuesta se requiere lo mas lineal posible de acuerdo al set point, disminuyendo el error lo más cercano a cero por lo que se tendrá un proceso estable.

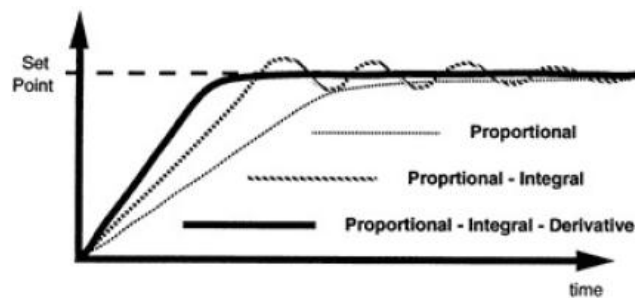


Figura 2.4 Respuesta en el tiempo al actuar un Control PID

Fuente: [http://www.sapiensman.com/control\\_automatico.html](http://www.sapiensman.com/control_automatico.html)

#### 2.4.11 Sensores de temperatura

Cada proceso en la industria debe ser controlado de alguna manera, y esta necesidad muchas veces también incluye la medición de la temperatura. Se dispone de una gran variedad de sensores de temperatura para realizar las mediciones de la temperatura.<sup>4</sup>

A fin de seleccionar el mejor sensor de temperatura, para cada aplicación, se deben tener en cuenta varios factores:

---

<sup>4</sup> [http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/instindustrial/teorico/080306-Sensores parte\\_II.temperatura.pdf](http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/instindustrial/teorico/080306-Sensores parte_II.temperatura.pdf)



- Temperatura Máxima.
  - Rango de Temperatura a medir.
  - Exactitud.
  - Velocidad de respuesta.
  - Costo.
- Requerimiento de mantenimiento.

## 2.4.12 Tipos de sensores de temperatura

### 2.4.12.1 Termocuplas



Figura 2.5 TERMOCUPLA

Fuente: info@silge.com.ar

La termocupla es un sensor de temperatura muy común utilizado industrialmente una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente). Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura.

Las termocuplas se fabrican con metales puros o sus aleaciones, y se usan para medir temperaturas que van desde los aproximadamente 80 grados hasta aproximadamente los 1800 grados centígrados, con termocuplas estándares, con aleaciones especiales pueden llegarse a temperaturas superiores a los 3000 grados centígrados.

A pesar de los avances efectuados con otros sensores de temperatura, las termocuplas continúan siendo los más usados debido al intervalo de temperatura en el cual pueden utilizarse, su bajo costo y su versatilidad.

#### **2.4.12.2 Tipos de termocuplas**

- **Tipo B: (Pt Rh 30%-Pt Rh 6%)**

Esta termocupla está formada, en uno de sus alambres por una aleación de platino y rodio, Pt y Rodio 30% y la otra Pt y Rodio 6% la gran ventaja de esta termocupla es su capacidad para medir temperaturas altas, mayor estabilidad y resistencia mecánica, y su aptitud para ser utilizada sin compensación de junta de referencia para variaciones normales de temperaturas ambientes. Las termocuplas tipo B resultan satisfactorias para realizar mediciones continuas en atmósferas oxidantes o inertes hasta los 1700 °C. También trabajan satisfactoriamente durante cortos periodos de tiempo en vacío.

La desventaja de la termocupla tipo B son su baja tensión de salida y su incapacidad de ser utilizadas en atmósferas reductoras, de hidrógeno, o monóxido de carbono, y cuando se encuentran presente vapores metálicos de plomo o zinc y no metálicos de arsénico, fósforo, o azufre. Para protección nunca se debe usar con un tubo de protección metálico o termo vaina, por su facilidad de contaminación.

- **Tipo R: (Pt Rh 13%- Pt)**

Esta termocupla está formada, en una de sus alambres por una aleación de platino y rodio, Pt y Rodio 13% y la otra de platino Pt. Esta termocupla puede ser utilizada en forma continua en atmósferas oxidantes o inertes hasta los 1400 °C.

Tiene menor estabilidad que la termocuplas Tipo B, las termocuplas Tipo R nunca se deben utilizar para realizar mediciones en atmósferas reductoras, ni tampoco

aquellas que contienen vapores metálicos o no metálicos u óxidos fácilmente reducibles, a menos que se las protejan adecuadamente, con tubos de protección no metálicos. Para su protección nunca se debe utilizar tubos u termo vainas metálicas en forma directa, para evitar su contaminación.

- **Tipo S: (Pt Rh 10%- Pt)**

Esta termocupla está formada, en una de sus alambres por una aleación de platino y rodio, Pt y Rodio 10% y la otra de platino Pt. Las termocuplas Tipo S al igual que las Tipo R pueden ser utilizadas en forma continua en atmósferas oxidantes o inertes hasta los 1480 °C Las termocuplas Tipo S nunca se deben utilizar para realizar mediciones en atmósferas reductoras, ni tampoco aquellas que contienen vapores metálicos o no metálicos u óxidos fácilmente reducibles, a menos que se las protejan adecuadamente, con tubos de protección no metálicos.

Son menos estables que las termocuplas Tipo B, cuando son utilizadas para realizar mediciones en vacío. Para su protección nunca se debe utilizar tubos u termo vainas metálicas en forma directa, para evitar su contaminación.

- **Tipo J: (Fe – Cu Ni)**

Esta termocupla está formada, una de sus alambres por Hierro y la otra por una aleación de Cobre y Níquel. Esta termocupla Tipo J es conocida como termocupla hierro constantán, las termocuplas Tipo J resultan satisfactorias para el uso continuo en atmósferas oxidante, reductores e inertes y en vacío hasta los 760 °C, por encima de los 540 °C, el alambre de hierro se oxida rápidamente, requiriéndose entonces alambres de mayor diámetro para extender su vida útil de servicio. La ventaja fundamental de este tipo de termocupla es su bajo costo. En cambio tiene como desventaja el no poder ser utilizada para mediciones en atmósferas sulfurosas por encima de los 540 °C, a causa de su oxidación y fragilidad no se recomienda para mediciones de temperaturas por debajo del 0 °C. No deben ser sometidas a ciclos de medición por encima de los 760 °C, aún durante cortos

periodos de tiempo, si en algún momento posterior llegaran a ser necesitadas para realizar mediciones exactas por debajo de esa temperatura.

- **Tipo K: (Ni Cr – Ni)**

La termocupla Tipo K se la conoce también como termocupla Chromel- Alumel. El Chromel es una aleación de aproximadamente 90 % de níquel, y 10 % de cromo, el Alumel es una aleación de 95 % de níquel, más aluminio, silicio y manganeso, razón por la cual se la especifica cómo Ni Cr – Ni. La termocupla Tipo K es la más usada en la industria debido, a su capacidad de resistir mayores temperaturas que la termocupla Tipo J , y pueden ser utilizadas en forma continua en atmósferas oxidantes, inertes hasta una temperatura de 1260 °C, y son las más satisfactorias para el uso en atmósferas reductoras, o sulfurosas y en vacío.

- **Tipo T: (Cu - Cu Ni)**

La termocupla Tipo T se la conoce también como termocupla Cobre Constantan. Se las utiliza en forma continua en vacío y en atmósferas oxidantes, reductoras, o inertes. Su principal desventaja reside en el hecho de que su límite máximo de temperatura es de tan solo 370 °C. Para un diámetro de alambre de 3,25 mm.

- **Tipo E: (Ni Cr –Cu Ni)**

La termocupla Tipo E o termocupla Chromel- Constantan. Para un diámetro de 3,25 mm. de alambre su alcance recomendado es de -200 a 980 °C. La termocupla Tipo E puede ser utilizada en forma continua en atmósferas oxidantes, inertes y resultan particularmente adecuadas para el uso en atmósferas húmedas a temperaturas subcero, además posee una buena resistencia a la corrosión.

### 2.4.13 Termistores

Compuestos de una mezcla sinterizada de óxidos metálicos, el termistor esencialmente un semiconductor que se comporta como un resistor térmico, con un coeficiente de temperatura negativo de un valor muy elevado. Los termistores también pueden encontrarse en el mercado con la denominación de NTC (Coeficiente Negativo de Temperatura), habiendo casos especiales de coeficiente positivo de temperatura, cuando su resistencia aumenta a medida que aumenta la temperatura y se los denomina PTC (Coeficiente Positivo de Temperatura). En algunos casos, la resistencia del termistor a la temperatura ambiente puede disminuir en hasta un 6 % por cada 1 ° C, de aumento de temperatura. Esta elevada sensibilidad a las variaciones de temperatura hace que el termistor resulte muy adecuado para mediciones precisas de temperatura, utilizándose muy ampliamente para aplicaciones de control y compensación en el rango de 150 a 450 ° C.<sup>5</sup>



Figura 2.6 Termistores

**Fuente:** <http://www.etsimo.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion11>.

### 2.4.13 Tipos de termistores

- **Pt100**

Un Pt100 es un sensor de temperatura. Consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica. El incremento de la resistencia no es lineal pero si creciente y

---

<sup>5</sup> [www.ecured.cu/index.php/Termistor](http://www.ecured.cu/index.php/Termistor)

característico del platino de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde.

Normalmente las Pt100 industriales se consiguen encapsuladas en la misma forma que las termocuplas, es decir dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vaina) , en un extremo está el elemento sensible (alambre de platino) y en el otro está el terminal eléctrico de los cables protegido dentro de una caja redonda de aluminio (cabezal).

Por otra parte los Pt100 siendo levemente más costosos y mecánicamente no tan rígidos como las termocuplas, las superan especialmente en aplicaciones de bajas temperaturas. (-100 a 200 °).

Los Pt100 pueden fácilmente entregar precisiones de una décima de grado con la ventaja que la Pt100 no se descompone gradualmente entregando lecturas erróneas, si no que normalmente se abre, con lo cual el dispositivo medidor detecta inmediatamente la falla del sensor y da aviso.

- **Pt1000**

Las sondas Pt 1000 presentan muy buenas características de exactitud, estabilidad en el tiempo y reproducibilidad de lecturas. Presentan una ventaja respecto a las Pt 100, el efecto de la longitud del cable es 10 veces menor ya que tienen un coeficiente de variación de temperatura 10 veces mayor.

Los límites teóricos de los elementos sensores de las sondas Pt 1000 son 650°C. Sin embargo, debido a los materiales utilizados en mangos, cables y vainas, las sondas sufren una variación importante de su límite máximo de medida.

## 2.4.14 Dispositivos de control

### 2.4.14.1 Controladores de Lógica programable (PLC).

Como su mismo nombre lo indica, se ha diseñado para programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real. Por lo general, es posible encontrar este tipo de equipos en ambientes industriales.

Los PLC sirven para realizar automatismos; son dispositivos electrónicos que reproducen programas informáticos, que permiten controlar procesos automáticamente. Se tiene que saber que hay infinidad de tipos de PLC, los cuales tienen diferentes propiedades, que ayudan a facilitar ciertas tareas para las cuales se los diseñan.

Un PLC es un equipo comúnmente utilizado en maquinarias industriales de fabricación de plástico, en máquinas de embalajes, entre otras; en fin, son posibles de encontrar en todas aquellas maquinarias que necesitan controlar procesos secuenciales, así como también, en aquellas que realizan maniobras de instalación, señalización y control.<sup>6</sup>

### 2.4.14.2 Estructura de un PLC.

- **Entrada:** Corresponde al elemento o interfaz por el cual ingresan los datos que son adaptados y codificados en forma comprensible para la CPU. A la entrada se pueden conectar distintos tipos de captadores como por ejemplo interruptores, pulsadores, sensores, etc. Esta sección del PLC también cumple una misión de protección de los circuitos electrónicos internos.
- **Unidad central de Procesos:** Esta sección realiza la interpretación de las instrucciones del programa ingresado a través del usuario y de acuerdo a los resultados obtenidos a la entrada activa o desactiva las salidas del PLC.

---

<sup>6</sup> [www.el.bqto.unexpo.edu.ve/lab\\_plc/paginas/estructura.html](http://www.el.bqto.unexpo.edu.ve/lab_plc/paginas/estructura.html)

- **Memoria:** Esta etapa es la encargada de almacenar la información del programa y los datos con los cuales trabaja la CPU. Dependiendo de la función se utilizarán distintos tipos de memoria, como por ejemplo: memoria de usuario, memoria de tabla de datos, memoria de sistema y memoria de almacenamiento.
- **Salida:** Esta sección trabaja con las señales entregadas de la CPU, decodificándolas y amplificándolas para manejar distintos tipos de actuadores como por ejemplo relés, contactores, electro-válvulas, lámparas, etc. Esta etapa también cuenta con un sistema de protección para los circuitos internos.

#### **2.4.14.3 Ventajas del PLC.**

- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado y añadir aparatos.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor coste de mano de obra de la instalación.
- Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden detectar e indicar averías.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.
- Menor tiempo para la puesta de funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.
- Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el autómata útil para otra máquina o sistema de producción.

#### **2.4.14.4 Desventajas de un PLC.**

- Costo elevado, ya que si no se tiene bien definido para el uso que se lo va a dar, puede tener un PLC sobrado para las funciones a automatizar, y en cambio se puede tener otro dispositivo más económico que haga la misma función.



- Cada fabricante tiene sus propios comandos, aunque similares, pero cambian para cada marca.
- El PLC, por ser una computadora, es vulnerable como tal. Si el programa se cuelga o se daña, se traba todo el proceso.
- Hace falta un programador, lo que obliga a adiestrar a unos de los técnicos de tal sentido.

#### 2.4.15 Microcontrolador

Es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. En fin estas son básicamente algunas de sus partes.<sup>7</sup>

- **Memoria ROM** (Memoria de sólo lectura).
- **Memoria RAM** (Memoria de acceso aleatorio).
- **Líneas de entrada/salida (I/O)** También llamados puertos.
- **Lógica de control** Coordina la interacción entre los demás bloques.

Estas son las funciones especiales de las cuales disponen algunos micros:

- **Convertidores análogo a digital (A/D)**, en caso de que se requiera medir señales analógicas, por ejemplo temperatura, voltaje, luminosidad, etc.
- **Temporizadores programables (Timer's)**. Si se requiere medir períodos de tiempo entre eventos, generar temporizaciones o salidas con frecuencia específica, etc.
- **Interfaz serial RS-232**. Cuando se necesita establecer comunicación con otro microcontrolador o con un computador.
- **Memoria EEPROM**. Para desarrollar una aplicación donde los datos no se alteren a pesar de quitar la alimentación, que es un tipo de memoria ROM que se puede programar o borrar eléctricamente sin necesidad de circuitos especiales.

#### **2.4.15.1 Ventajas del uso de un Microcontrolador**

- Aumento de prestaciones, lo que implica un mayor control sobre un determinado elemento representa una mejora considerable en el mismo.
- Aumento de la fiabilidad, lo que implica un menor riesgo de averías y menos ajustes.
- Disminución del tamaño del producto, con un menor volumen, mano de obra y stocks.
- Disminución del coste del producto.

#### **2.4.15.2 Factores a considerar según la aplicación en la que se va a emplear**

Al momento de seleccionar un microcontrolador se debe estimar los siguientes ítems:

##### **Elección de la familia (fabricante)**

- Experiencia previa.
- Documentación.
- Herramientas de desarrollo y precio.
- Disponibilidad.

##### **Elección de modelo concreto de un microcontrolador**

- Precio del microcontrolador.
- E/S y recursos internos.
- Consumo y velocidad.
- Memoria.
- Ancho de palabra.
- Diseño de la placa.

### **2.4.15.3 Familias de microcontroladores PIC**

Los microcontroladores PIC se pueden clasificar, atendiendo al tamaño de sus instrucciones en tres grandes grupos o gamas:

- Gama Baja: microcontroladores con instrucciones de 12 bits.
- Gama Media: microcontroladores con instrucciones de 14 bits.
- Gama Alta: microcontroladores con instrucciones de 16 bits.

### **2.4.15.4 Microcontroladores de gama baja**

Los microcontroladores PIC de gama baja disponen de un repertorio de 33 instrucciones de 12 bits cada una. La memoria de programa tiene una capacidad de hasta 2K(2048) palabras de 12 bits y está organizada en páginas de 512 palabras cada una. La memoria de datos está formada por registros de 8 bits y se organiza en bancos de hasta 32 registros cada uno.

Los PIC de gama baja tienen una pila (stack) de dos niveles, para guardar direcciones de la memoria programada. No tienen interrupciones. Su entrada y salida tiene un pequeño número de dispositivos, que comprende hasta tres puertos de entrada y salida de hasta 8 bits cada uno, un temporizador y un comparador (Según el modelo del PIC).

Los microcontroladores PIC de gama baja son de tres familias:

- Los PIC16X5xx
- Los PIC12X5xx
- Los PIC10

Los PIC16X5x constituyen la principal familia de los PIC de gama baja. Estos microcontroladores se presentan con memoria de programa EPROM, OTP o FLASH, según el modelo, su consumo en condiciones normales de 2mA a 5V, y

en el modelo de bajo consumo es menor de 3uA a 3V. Su encapsulado es de 18,20 o 28 terminales.

La familia PIC12X5x se caracteriza por encapsulado de 8 terminales. Dado el pequeño número de terminales disponibles, los recursos de entrada y salida se reducen a un puerto paralelo de 6 bits, un temporizador y convertidor A/D, según el modelo. La memoria de programa es OTP o FLASH, también según el modelo. Algunos modelos tienen memoria EEPROM de datos. El consumo de corriente es menos de 2 mA a 5V, y menos de 2 uA a 3V en el modo de bajo consumo.

La Familia PIC10Fxxx se distingue por su pequeño tamaño, pues se presenta en encapsulados de 8 o 6 terminales. Todos estos PIC tienen memoria de programa tipo FLASH, aunque no disponen de memoria EEPROM de datos. Sus recursos de entrada y salida se limitan a un puerto paralelo de 4 bits, un temporizador y un comparador (Según el modelo). En condiciones normales de operación, el consumo es menor de 350 uA a 2V.

#### **2.4.15.5 Microcontroladores de gama media**

Estos dispositivos tienen un repertorio de 35 instrucciones de 14 bits cada una. La memoria de programa puede llegar a las 8K (8192) palabras de 14 bits y se organiza en páginas de 2K (2048) palabras cada una. La memoria de datos está formada por registros de 8 bits y está organizado en bancos de 120 registros cada uno, con un máximo de cuatro bancos. En general, los PIC de gama media poseen algo de memoria EEPROM de datos. Todos tienen una pila de 8 niveles, donde se almacenan direcciones de la memoria de programa.

Estos PIC poseen un sistema de interrupciones fijas para atender interrupciones internas y una interrupción externa. Las interrupciones internas provienen de sus dispositivos de entrada y salida. En general cada bloque de entrada y salida puede generar una solicitud de interrupción a la CPU. Todos los PIC de gama media

tienen un terminal para recibir las solicitudes de interrupción proveniente de algún dispositivo externo.

Los microcontroladores PIC de la gama media tienen una amplia variedad de dispositivos de entrada y salida. Cuentan con varios puertos paralelos (puertos A,B,C, etc. ) para la comunicación paralela con dispositivos externos, aunque cada puerto tiene sus especificidades. Disponen también de hasta tres temporizadores, dos módulos de captura, comparación y modulación, varios tipos de puertos serie para la comunicación serie asincrónica y sincrónica, un convertidor A/D de 10 bits asociado a un multiplexor con varias entradas analógicas.

Los PIC de gama media con encapsulado de 8 terminales se caracterizan porque pueden funcionar con tensiones pequeñas (2V) y con un consumo de corriente de sólo unos 100uA en funcionamiento normal, y 1 nA a 2V en el modo de bajo consumo.

#### **2.4.15.6 Microcontroladores de gama alta**

Los microcontroladores de gama alta se distinguen por sus instrucciones de 16 bits, mayor profundidad en la pila y un sistema de interrupciones más elaborado que incluye, además de las interrupciones internas de los dispositivos integrados en el microcontrolador varias entradas para interrupciones externas. Algunos PIC de la gama alta tienen una arquitectura abierta, que admite la ampliación de las memorias de programa y de datos .Finalmente el número de dispositivos de entrada y salida es bastante más amplio que de los PIC de gama media.

Los PIC de gama alta están disponibles en dos familias, que comprenden:

- Los PIC17
- Los PIC18

Los PIC17 tienen un repertorio de 58 instrucciones de 16 bits cada una. La memoria de programa puede ser hasta 64K (65536) palabras de 16 bits cada una y la memoria de datos puede llegar a tener hasta 1K (1024) registros de 8 bits. La memoria de programa de los PIC 17 es EPROM, ROM u OTP. La pila tiene 16 niveles de profundidad. Su sistema de interrupciones incluye el tratamiento de prioridades.

Una característica interesante de los PIC17 es su arquitectura abierta. Estos microcontroladores pueden trabajar en cuatro modos diferentes: como microcontrolador, microcontrolador protegido, microcontrolador ampliado y microprocesador.

Los PIC18 constituyen una numerosa familia de microcontroladores, que en su gran mayoría tienen memoria de programa de tipo FLASH. Tienen un repertorio de 77 instrucciones de 16 bits. La memoria de programa puede ser hasta 2MB, y la memoria de datos puede llegar a los 4K (4096) registros de 8 bits cada uno.

Algunos miembros de la familia PIC18 admiten una expansión externa de la memoria de programa. Poseen una pila de 31 niveles de profundidad, así como un sistema de interrupción muy elaborado, con interrupciones internas provenientes de los dispositivos de entrada y salida integrados en el microcontrolador y tres interrupciones externas. Varios dispositivos PIC18 están diseñados para trabajar con tensiones bajas (2V a 3,6V) y con corrientes inferiores a 2 mA.<sup>7</sup>

#### **2.4.16 PC industriales**

Los PCs industriales son equipos robustos que pueden soportar ambientes hostiles y, al mismo tiempo, ofrecen una capacidad de expansión increíble, flexibilidad, fiabilidad y la más alta calidad que se espera de un equipo industrial.<sup>8</sup>

---

<sup>7</sup> Fernando E. Valdés Pérez (1998). Microcontroladores Fundamentos y aplicaciones con PIC. Del Valle México. (Pag.11)

<sup>8</sup> [www.automation.siemens.com/.../brochure\\_simatic\\_industrial\\_pc\\_es](http://www.automation.siemens.com/.../brochure_simatic_industrial_pc_es).

#### **2.4.16.1 Características de un pc industrial**

- Mayor solidez mecánica y eléctrica.
- Mayor modularidad (más tipos de tarjetas E/S, bastidores industriales, conectores, etc.).
- Mayor capacidad para soportar software específico (respuestas en tiempo real y preparado para responder ante soluciones de tiempo crítico).
- Mejores protecciones ante ambientes hostiles con alto ruido electromagnético y condiciones ambientales duras (polvo, temperaturas extremas, variaciones de tensión bruscas y elevadas, etc.).

#### **2.4.16.2 Tipos de PC industriales**

- Estaciones de trabajo Basadas en sistemas operativos específicos (UNIX) con alto nivel de procesamientos de datos y robustez.
- Sistemas multiprocesador modulares, múltiples placas de control interconectadas por sistemas de bus de altas prestaciones.
- Sistemas PC tradicionales con características industriales PC proveniente del entorno oficina adaptado al industrial, alternativa más económica para instalaciones de poca complejidad.

#### **2.4.16.3 PC industrial frente PLC.**

- No compiten por el mismo tipo de aplicaciones sino que cooperan para mejorar la producción.
- PLC orientado a control directo de elementos de planta (actuadores, sensores, motores, etc.). Mejor resuelto en interfaz con elementos de planta y mejor adaptable y expansible según necesidades del entorno.

- PC industrial orientado a tareas de comunicación con PLC para almacenamiento y gestión de datos, computación compleja, monitorización y tareas no primordiales.
- Mayor potencia de cálculo, más facilidad de programación y mejor interfaz con el usuario.
- PC industrial se ubica en un nivel superior de la pirámide de automatización.

#### 2.4.17 Controladores de temperatura



Figura 2.7 Controlador De Temperatura

Fuente: Fanox Electronic

El controlador de temperatura es aquel que tiene la capacidad de mantener la temperatura adecuada en un horno para un tratamiento de un mineral en una refinería o para tratamientos térmicos de diferentes Aceros, o cómo podríamos hacer un control de un sistema de calefacción, es aquí donde entran a tallar los controles que rigen el comportamiento de la temperatura.

Los controladores de temperatura/proceso satisfacen las necesidades de una gran variedad de procesos industriales. Son ideales para equipos de manufactura de semiconductores, equipos de procesamiento de plásticos, de embalaje y aplicaciones de control de procesos industriales.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> [www.reitec.es/V2/Pdf/OMRON11.pdf](http://www.reitec.es/V2/Pdf/OMRON11.pdf)



## 2.4.18 Tipos de hornos

### 2.4.18.1 Horno Eléctrico



Figura 2.8 Horno Eléctrico

Fuente: [www.hornosgallur.com/Index](http://www.hornosgallur.com/Index)

Los hornos eléctricos son equipos o dispositivos utilizados en la industria, en los que se calientan las piezas o elementos colocados en su interior por encima de la temperatura ambiente. El objeto de este calentamiento puede ser muy variado, por ejemplo:

- Fundir.
- Ablandar para una operación de conformación posterior.
- Tratar térmicamente para impartir determinadas propiedades.
- Recubrir las piezas con otros elementos, operación que se facilita frecuentemente operando a temperatura superior a la del ambiente.

### 2.4.18.2 Horno 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.

Ventajas:

1.-Permite alcanzar temperaturas hasta de 1500°C, lo que facilita la obtención de fundiciones blancas y especiales y las adiciones en el canal y en la cuchara de coladas.

2.- Se ahorra combustible.

### **2.4.18.3 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.

### **2.4.18.4 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.

#### **2.4.18.5 Hornos de crisoles**

Los crisoles son recipientes de arcilla mezclada con grafito y otras sustancias, provistos de tapa para cierre hermético, que una vez cargados y cerrados se caldean en los denominados hornos de crisoles, utilizando como combustible carbón o, más modernamente, gasoil.

La fusión en crisoles es uno de los procedimientos más antiguos y sencillos para elaborar metales, y todavía se emplea, y probablemente se empleara siempre por la economía de su instalación sobre todo para fundir pequeñas cantidades.

#### **2.4.18.6 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 los portaelectrodos de una mezcla formada por antracita, cok metalúrgico, cok de petróleo y grafito amasados con alquitrán.

#### **2.4.18.7 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:

#### **2.4.18.8 Hornos de baja frecuencia**

En estos hornos el calor se produce por el efecto joule de la corriente inducida en el metal que se trata de fundir, que actúa como arrollamiento secundario de un transformador. Los primeros modelos estaban formados por un crisol en forma de

anillo que constituía la espira del secundario de un transformador, cuyo primario estaba conectado a la red. Pero en la actualidad los hornos de esta clase están formados por un crisol cuyo fondo está en comunicación con un conducto circular, que forma la espira secundaria del transformador de inducción. El metal contenido en el conducto es el que se funde, desplazándose su masa y comunicando el calor al resto del material.

#### **2.4.18.9 Hornos de alta frecuencia**

En los hornos de alta frecuencia el calor lo producen las corrientes de Foucault, ordinariamente consideradas como parásitas, inducidas en el metal, que actúa como núcleo de un solenoide o arrollamiento primario. Estos hornos están formados por un crisol refractario que contiene el metal, rodeado de un arrollamiento de tubo de cobre por el que circula una corriente de alta frecuencia, que crea un campo magnético variable, calentándose la masa de metal contenida en el crisol por las corrientes de Foucault inducidas por el campo magnético.

#### **2.4.18.10 Hornos electrónicos**

En los hornos electrónicos el calor se produce por la vibración molecular del cuerpo que se trata de calentar cuando es sometido a un fuerte campo de radiaciones electromagnéticas de muy alta frecuencia (frecuencias de radio). Estos hornos también denominados de pérdidas dieléctricas, se emplean para aplicaciones para las que sus cualidades específicas los hagan muy superiores, desde el punto de vista técnico, a los demás hornos, compensando así el mayor coste de la fusión.

#### **2.4.18.11 Hornos eléctricos de resistencia**

En los hornos eléctricos de resistencia, el calor está producido por el efecto Joule al circular una corriente eléctrica por una resistencia. Se fabrican dos clases de hornos de este tipo para fusión de metales, que son los siguientes:

#### **2.4.18.12 Hornos eléctricos de crisol**

Estos hornos están formados por un crisol rodeado por cintas o varillas de aleaciones de níquel-cromo de alta resistividad que se calienta fuertemente al circular por ellas la corriente eléctrica. Estos hornos sólo se emplean para fundir aleaciones de bajo punto de fusión, como las de soldadura, tipos de imprenta, aleaciones antifricción para cojinetes y aleaciones de aluminio.

#### **2.4.18.13 Hornos eléctricos de reverbero**

Se construyen actualmente dos clases de hornos, de resistencia metálica y de resistencia de grafito. En los hornos eléctricos de resistencia metálica, se produce el calor al circular la corriente eléctrica por resistencias de aleación níquel-cromo de gran sección, alojadas en la bóveda del horno. Estos hornos se utilizan exclusivamente para aleaciones cuya temperatura de fusión sea inferior a 1000°C. Los hornos eléctricos de resistencia de grafito, están formados por una envuelta cilíndrica, por cuyo eje horizontal, pasa una barra de grafito, que se calienta al circular por ella la corriente eléctrica. Estos hornos son oscilantes, lo que permite bañar con el metal líquido todo el revestimiento refractario y aprovechar así, directamente, el calor acumulado por este. Los hornos de resistencia de grafito se emplean para la fusión de fundiciones especiales y aleaciones de cobre a temperaturas que pueden llegar hasta los 1350°C.<sup>10</sup>

#### **2.4.19 Partes de un horno eléctrico.**

- 1.- Ladrillos refractarios.
- 2.- Aislamiento térmico.
- 3.- Mortero Refractario.
- 4.- Resistencias.

---

<sup>10</sup> W.Trinks M.H. Mawhinney (1975). Hornos Industriales .Bilbao España.(Pag 122)

## 2.4.20 Ladrillos refractarios

Son utilizados para revestir parrillas, calderas, ollas de aceración, hornos rotatorios de cementeras, etc., los cuales deben de estar pegados con tierra refractaria, estos se pueden adherir con firmeza en la tierra si se utiliza un poco de mortero, en donde el resultado de esta mezcla parecerá como un barro. Se debe tener suma precaución con estos ladrillos, ya que si llegan a utilizarse con otro material pueden llegar a explotar. Estos al igual que la tierra refractaria, además de cumplir con su función que es refractar, mantienen el calor. Lo que más se destaca de el ladrillo es que se fabrican en gran variedad de calidades que van desde el 36% hasta el 99% de contenido alúmina para soportar diferentes temperaturas y usos distintos. Los ladrillos que son utilizados para recubrir hornos de fundición de acero son los ladrillos de dióxido de silicio, ahora bien, cuando algunos ladrillos comienzan a licuarse estos trabajan a una temperatura superior de 3000 °F (1650 °C).



Figura 2.9 Ladrillos Refractarios

Fuente:Catalogo Ladrillos Refractarios Erecos

### 2.4.20.1 Tipos de ladrillos refractarios

Tabla No 2.1. Tipos De Ladrillos Refractarios

Fuente:Catalogo Ladrillos Refractarios Erecos

Tipo de Ladrillo Refractario	Designación	Características
Universal 30	U-30	Medianamente Refractario(1699 °C)
Universal 32	U-32	Altamente Refractario (1724 °C)
Universal 33	U-33	Super Refractario(1763 °C)
Erecos 40	ER-40	Super Refractario(1763 °C)

- **Universal 30 (U-30).**-Ladrillo medianamente refractario, indicado para la construcción de mamposterías de hornos donde las condiciones de operación no son muy severas.
- **Universal 32 (U-32).**-Ladrillo altamente refractario, empleado como revestimiento de seguridad en cucharas de procesos metalúrgicos y como revestimientos de trabajo en hornos donde las condiciones de operación no son muy severas.
- **Universal 33 (U-33).**-Ladrillo súper Refractario, indicado para servicio pesado en bóvedas ,muros y pisos de hornos y calderas ,cámaras de combustión ,zona fría de hornos rotatorios y en general donde además de una alta temperatura de servicio (1763°C) sea importante una buena resistencia al choque térmico y al ataque moderado de escorias y agentes químicos.
- **Erecos 40 (ER-40).**-Ladrillo súper refractario, quemado a mayor temperatura que los convencionales, con muy buena resistencia al ataque por escorias, a la abrasión y al choque térmico, de baja porosidad y alta resistencia mecánica. Utilizado en el revestimiento de cucharas para transporte de acero y de excelente desempeño en la zona fría de horno de cemento.<sup>11</sup>

#### **2.4.21 Aislamiento térmico.**

Los aislamientos térmicos son aquellos que tienen la capacidad para oponerse al paso del calor por conducción. Se evalúa por la resistencia térmica que tienen. Aquellos materiales que ofrecen una resistencia alta, se llaman aislantes térmicos específicos o, más sencillamente, aislantes térmicos específicos. Ejemplos de estos aislantes térmicos específicos pueden ser las lanas minerales (lana de roca y lana de vidrio).

---

<sup>11</sup> Erecos 1993. Catalogo Ladrillos Refractarios. Medellin- Colombia



Figura 2.10 Aislamiento Térmico

Fuente: [www.paginas-de.com.ar/juntas/mantasceramicas.htm](http://www.paginas-de.com.ar/juntas/mantasceramicas.htm)

Aislantes para hornos comúnmente utilizados.

Tabla No 2.2. Tipos De Aislantes

Fuente: [www.paginas-de.com.ar/juntas/mantasceramicas.htm](http://www.paginas-de.com.ar/juntas/mantasceramicas.htm)

<b>Tipo de Aislante</b>	<b>Limite de Utilización (°F)</b>
Tierra de infusorios (Diatomeas), Bloques con Asbesto y Caliza	1800-1900
Fibras:	
Bloques de lana de Escoria	1500-1700
Cubierta de lana de Escoria	800-1000
Cubierta de Lana de Vidrio	800-1000
Bloques de lana de Sílice-Alúmina	2000-2300
Cubiertas de lana de Sílice-Alúmina	2000-2300
Lana de Sílice-Alúmina Ligera	2000-2300
Vermiculita:	
Bloques	1500-1600
Fibras Sueltas	1500-1600
Caolín-Yeso	1600
Vidrio-Espumado	1600
Manta Fibra Cerámica	2012



#### 2.4.21 Mortero refractario.

Los morteros refractarios están constituidos por una mezcla de áridos refractarios finamente molidos, de arcillas plásticas, aditivos y ligantes especiales. Un mortero refractario, además de proporcionar estabilidad a la mampostería, debe prevenir la penetración y ser resistente al ataque de escorias, líquidos o gases corrosivos. El mortero refractario se debe seleccionar tan cuidadosamente como el ladrillo con el cual va a ser usado y debe ser compatible con la composición química del ladrillo. Se utiliza para pegar ladrillos entre sí y rellenar juntas entre ellos.



Figura 2.11 Mortero Refractario

Fuente:Catalogo Ladrillos Refractarios Erecos

#### 2.4.22.1 Tipos de morteros refractarios.

Tabla No 2.3. Tipos De Morteros Refractarios

Fuente:Catalogo Ladrillos Refractarios Erecos

<b>Tipo de mortero refractario</b>	<b>Características</b>	<b>Aplicación</b>
REPEL X	Húmedo, de fraguado al aire	Mamposterías de ladrillos aislantes:UA-20,UA-23,UA-26
UNIVERSAL	Seco de fraguado térmico	Mamposterías de ladrillos U-30,U-32,U33 y ER-40
SUPER AEROFRAX	Húmedo, de fraguado al aire	Mamposterías de ladrillos U-30,U-32,U33, ER-40,ALUM-50,AQ-45M

### **2.4.23 Tratamientos térmicos**

Es el proceso al que se someten los metales con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas, especialmente la dureza, la resistencia y la tenacidad. Los materiales a los que se aplica el tratamiento térmico son, básicamente, el acero y la fundición, formados por hierro y carbono.

### **2.4.24 Tipos de tratamientos térmicos.**

#### **2.4.25 Recocido**

Es el un tratamiento térmico que, en general, tiene como finalidad principal ablandar el acero, regenerar la estructura de aceros sobrecalentados o simplemente eliminar las tensiones internas que siguen a un trabajo en frío. Implica un calentamiento hasta una temperatura que permita obtener plenamente la fase estable a alta temperatura seguido de un enfriamiento lo suficientemente lento como para que se desarrollen todas las reacciones completas.

##### **2.4.25.1 Tipos de recocido**

##### **2.4.25.2 Recocido de regeneración o total**

Cuando se trata de ablandar el acero y regenerar su estructura. Consiste en calentar el acero a una temperatura entre 30 °C y 50 °C superior a la crítica, mantener la temperatura durante un tiempo y dejarlo enfriar lentamente con objeto de conseguir un grano fino que facilite su mecanizado y una perlita con una configuración más dislocada. En general se deja enfriar dentro del mismo horno y se consiguen estructuras con grandes masas de perlitas rodeadas de ferrita o cementita.

### **2.4.25.3 Recocido de globalización**

Debido a que los aceros hipereutectoides tienen poca maquinabilidad por la presencia de láminas duras de cementita se debe someter a este tratamiento térmico conocido también como recocido globular, mediante el carbono adopta una forma esférica o globular esta estructura proporciona no solo una buena maquinabilidad sino también una buena ductilidad. Los métodos más frecuentes de realizar este tratamiento térmico son:

- 1.-Permanencia prolongada a una temperatura inmediatamente por debajo de la crítica inferior A1 (700 °C).
- 2.-Empleo de un ciclo oscilante de calentamiento y enfriamiento a temperaturas que son unas veces inmediatamente superiores y otras inferiores a las correspondientes a la línea crítica inferior A1.

### **2.4.25.4 Recocido de alivio de tensiones**

Es conocido también como subcrítico, tiene por objeto la eliminación de las tensiones internas que aparecen en el material después de haber sufrido un fuerte mecanizado o en cualquier otro proceso de deformación en frío. Se realiza normalmente a temperaturas inferiores a las correspondientes a la línea crítica inferior a A1 (538 a 648 °C).

### **2.4.25.5 Recocido contra acritud**

Este tratamiento se utiliza en las industrias que trabajan con chapas y alambres y se realiza calentando el acero a temperaturas por debajo de las críticas inferiores A1(538 a 650 °C). Se aplican después de que los materiales han sufrido una deformación en frío y durante el calentamiento el acero se ablanda debido a la recristalización, lo que le permite sufrir una nueva deformación.

#### **2.4.26 Normalizado**

Es un tratamiento térmico que se emplea para dar al acero una estructura y unas características tecnológicas que se consideran el estado natural o inicial del material que fue sometido a trabajos de forja, laminación o tratamientos defectuosos. Se hace como preparación de la pieza para el temple.

El procedimiento consiste en calentar la pieza entre 30 y 50 grados centígrados por encima de la temperatura crítica superior ( $A_3$  o  $A_{cm}$ ), tanto para aceros hipereutectoides, como para aceros hipoeutectoides, y mantener esa temperatura el tiempo suficiente para conseguir la transformación completa en austenita. A continuación se deja enfriar en aire tranquilo, obteniéndose una estructura uniforme, con esto se consigue una estructura perlítica con el grano más fino y más uniforme que la estructura previa al tratamiento, consiguiendo un acero más tenaz. <sup>(12)</sup>

#### **2.4.27 Temple**

Es un tratamiento térmico al que se somete al acero, concretamente a piezas o masas metálicas ya conformadas en el mecanizado, para aumentar su dureza, resistencia a esfuerzos y tenacidad. El proceso se lleva a cabo calentando el acero a una temperatura aproximada de  $915^{\circ}\text{C}$  en el cual la ferrita se convierte en austenita, después la masa metálica es enfriada rápidamente, sumergiéndola o rociándola en agua, en aceite o en otros fluidos o sales. Después del temple siempre se suele hacer un revenido.

##### **2.4.27.1 Características generales del temple**

- Es el tratamiento térmico más importante que se realiza.
- Hace el acero más duro y resistente pero más frágil.

---

<sup>12</sup> Yu.M.LAJTIN 1985. Metalografía y tratamiento térmico de los metales.Moscu(Pag.233)

- La temperatura de calentamiento puede variar de acuerdo a las características de la pieza y resistencia que se desea obtener.
- El enfriamiento es rápido.

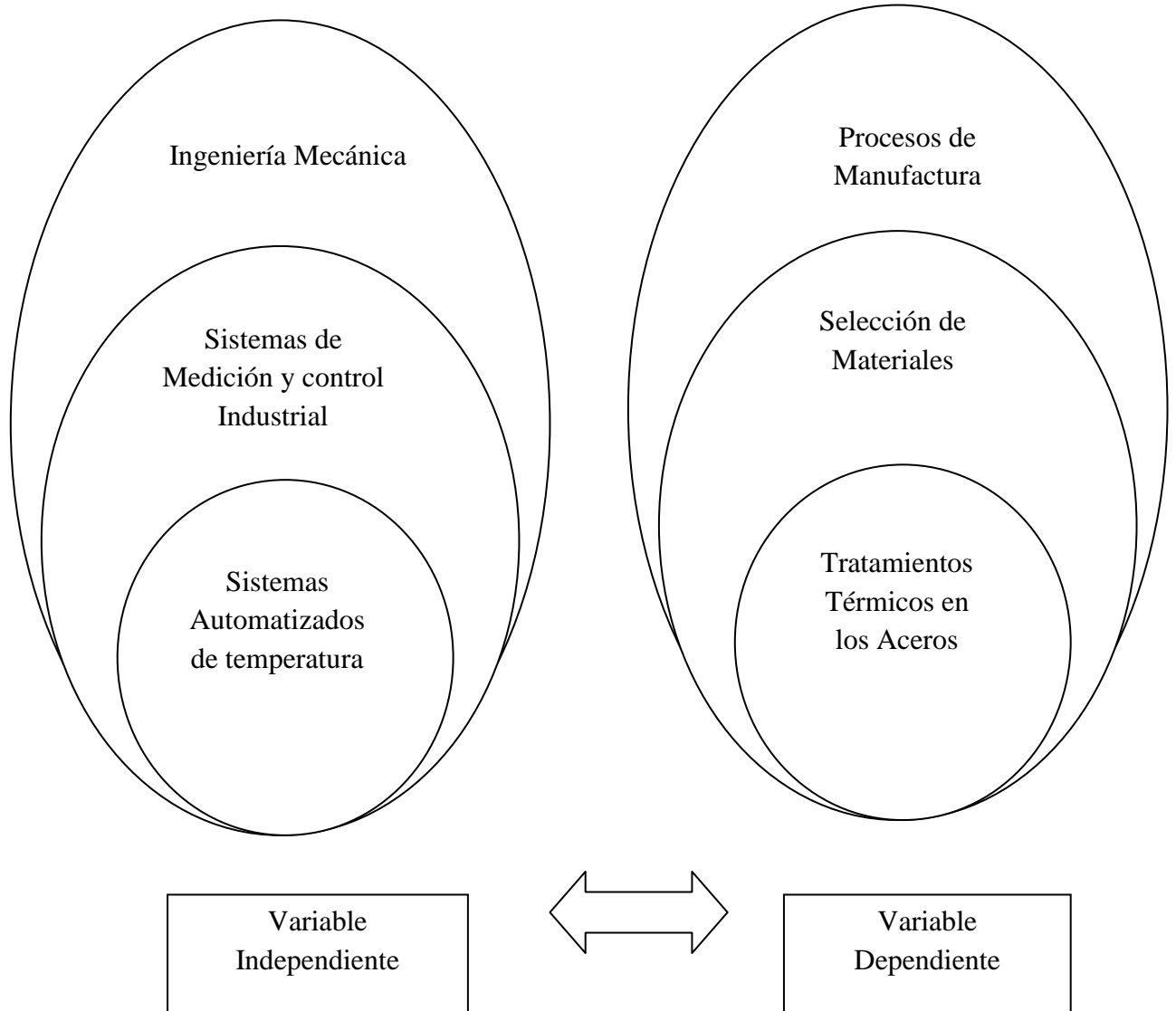
#### **2.4.28 Revenido**

Es un tratamiento térmico que sigue al de templado del acero. Tiene como fin reducir las tensiones internas de la pieza originadas por el temple o por deformación en frío. Mejora las características mecánicas reduciendo la fragilidad, disminuyendo ligeramente la dureza, esto será tanto más acusado cuanto más elevada sea la temperatura de revenido.

##### **2.4.28.1 Características generales del revenido**

- Es un tratamiento que se da después del temple.
- Se da este tratamiento para ablandar el acero.
- Elimina las tensiones internas.
- La temperatura de calentamiento está entre 150 y 500 °C (debe ser inferior a Ac1).
- El enfriamiento puede ser al aire o en aceite.

## 2.5 CATEGORIAS FUNDAMENTALES



**Grafico N.-2.1** Red de Categorías Fundamentales

Elaborado por: Jaime Toasa

## **2.6 Hipótesis.**

Con el Estudio de sistemas automáticos de control de temperatura se conseguirá controlar de forma adecuada el horno eléctrico tipo mufla de la Carrera de Ingeniería Mecánica en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato.

## **2.6 Señalamiento de Variables.**

### **2.6.1 Variable Independiente.**

Sistemas automatizados de temperatura.

### **2.6.2 Variable Dependiente.**

Tratamientos Térmicos en los Aceros.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN**

En el presente trabajo de investigación se considerará un enfoque de tipo cualitativo y cuantitativo debido a que se va a realizar la obtención de una serie de datos provenientes de los ensayos realizados, entrevistas, observaciones y datos bibliográficos los mismos que van a ser empleados para determinar los parámetros necesarios como son temperatura, tiempos, para el buen funcionamiento del sistema automatizado de temperatura del horno.

Esta investigación será de campo porque se realiza en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, ubicada en la ciudad de Ambato Campus Huachi, de donde se determinan las características y condiciones del horno eléctrico.

En esta investigación se incluye la modalidad experimental, ya que una vez funcionando el horno eléctrico, se someterá a realizar diferentes ensayos de tratamientos térmicos a fin de comprobar la microestructura, dureza del acero a ensayar.

También la investigación será bibliográfica debido a que se utilizará la información de libros, revistas, tesis e internet, las mismas que nos ayudaran a profundizar ciertos criterios y teorías sobre los sistemas automatizados de temperatura, todo esto será



facilitada por la biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

### **3.2 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.**

#### **3.2.1 Descriptivo**

El tipo de investigación es descriptivo ya que para el desarrollo del proyecto se describirá tanto la variable dependiente como la independiente, también se describirán los recursos materiales y económicos que se necesitarán para la consecución del proyecto.

#### **3.2.2 Explicativo**

Se explicarán detalladamente todos los resultados obtenidos en el estudio para conocer los aspectos que intervienen en el mismo.

#### **3.2.3 Asociación de variables**

En la asociación de variables se realiza la respectiva comparación de la variable dependiente e independiente ya que ambas están enlazadas respectivamente, para llegar a un fin común.

### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA**

Para el desarrollo de la presente investigación, la población o universo estará constituido por los profesor encargado que es quien imparte la materia de Procesos de Manufactura y su respectivo ayudante que son los responsables del laboratorio de materiales perteneciente a la Carrera de Ingeniería Mecánica de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato durante el periodo Marzo-Agosto del 2012 del cual se obtuvo un universo de 2 personas.

### 3.5 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

#### 3.5.1. Variable Independiente

##### Sistemas Automatizados de Temperatura

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	ÍTEMS	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Es el uso de sistemas o elementos computarizados para controlar maquinarias y/o procesos industriales, substituyendo a operadores humanos. La automatización como una disciplina de la ingeniería es más amplia que un mero sistema de control, abarca la instrumentación industrial, que incluye los	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dispositivo de control de operaciones</li> <li>- Control de Tiempos</li> </ul>	<p>¿Qué dispositivo de control cumple con los requerimientos para el manejo de temperaturas y tiempos del horno eléctrico tipo mufla?</p> <p>¿Qué software de programación o dispositivo electrónico utilizará para controlar los tiempos de permanencia para los tratamientos térmicos?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-PLC</li> <li>-Controlador de temperatura</li> <li>-Microcontroladores</li> <li>-PC</li> <li>-Labview</li> <li>-Visual</li> <li>-Temporizador</li> </ul>	<p>Bibliografía :Libros ,Internet</p> <p>Bibliografía :Libros ,Internet</p>

<p>sensores y transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales.</p>	<p>Visualización</p>	<p>¿Cuál es el dispositivo adecuado para la visualización de la temperatura en el horno?</p>	<p>-Indicador analógico -LCD</p>	<p>Bibliografía :Libros ,Internet</p>
	<p>Control de Lazo cerrado</p>	<p>¿Qué tipo de control de temperatura es el adecuado para operar el horno eléctrico tipo mufla?</p>	<p>-On/Off -PID</p>	<p>Bibliografía :Libros ,Internet</p>
	<p>Sensor de Temperatura</p>	<p>¿Qué tipo de sensor de temperatura es el más apropiado para el uso en el horno eléctrico tipo mufla?</p>	<p>-RTP -Termopar</p>	<p>Bibliografía :Libros ,Internet</p>

### 3.5.1. Variable Dependiente

#### Tratamientos térmicos del Acero

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	ÍTEMS	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Es el proceso en que el acero en estado sólido es sometido a uno o varios ciclos de calentamiento y enfriamiento con lo que se consigue variar alguna o algunas de sus propiedades mecánicas especialmente la dureza, la resistencia y la tenacidad en la forma deseada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tratamientos térmicos en el horno eléctrico tipo mufla</li> <li>-Temperaturas de operación el horno</li> <li>-Aceros para tratamientos térmicos</li> <li>-Propiedades mecánicas del acero</li> </ul>	<p>¿Qué tipo de tratamientos térmicos del acero se realiza en el horno eléctrico tipo mufla?</p> <p>¿Qué rango de temperatura generalmente trabaja el horno para realizar tratamientos térmicos?</p> <p>¿Qué tipos de aceros se utilizan en el laboratorio para realizar tratamientos térmicos?</p> <p>¿Qué se consigue al realizar un tratamiento térmico en el acero?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Temple</li> <li>-Revenido</li> <li>-Normalizado</li> <li>-Recocido</li> <li>-Austempering</li> <li>-Para cada tratamiento térmico</li> <li>-AISI 1018</li> <li>-AISI1020</li> <li>-AISI 1040</li> <li>-DF2</li> <li>-Microestructura</li> <li>-Dureza</li> </ul>	<p>Entrevista: Cuestionario</p> <p>Entrevista: Cuestionario</p> <p>Entrevista :Cuestionario</p> <p>Bibliografía :Libros ,Internet</p>

	-Dimensiones	¿Qué dimensión tienen las probetas usadas comúnmente para realizar los ensayos de tratamientos térmicos?	-Longitud -Diámetro	Entrevista :Cuestionario
	-Normas Utilizadas	¿Qué normas utilizan para realizar los diferentes tratamientos térmicos?	-Describa la norma utilizada	Entrevista :Cuestionario
	-Funcionamiento	¿Con que frecuencia se realizan pruebas de tratamientos térmicos en el acero en el laboratorio?	Numero de ensayos realizados	Entrevista :Cuestionario

### **3.5 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

De acuerdo al desarrollo de la operacionalización de variables se recolecto la información por medio de la siguiente técnica con sus respectivos instrumentos:

Observación: Para lo cual se tomó notas de todo lo que se consideró necesario, para describir los hechos de significación especial que ayudará a tener una base informativa suficiente; se utilizo un cuaderno de notas para describir todo lo observado además se anotó fechas, características, cantidades, como medios de recolección de la información se utilizó varios equipos como son los del laboratorio de materiales de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica que se tiene a disposición.

### **3.6 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

- Los datos fueron recogidos y analizados de una manera crítica debido a que muchos podrían tener datos anómalos, razón por la cual tienen que ser separados.
- Se utilizo varias fuentes para verificar la veracidad de la recolección de datos ya estos tienen una gran incidencia en el desarrollo del estudio.
- Tabulación de los datos de acuerdo a los parámetros y a la relación que tengan con las variables de la hipótesis.
- Estudio de los datos para la presentación de resultados.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

Para la presente investigación se tomaron principalmente los datos recogidos por la entrevista realizada al Ingeniero encargado del Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica perteneciente a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica conjuntamente con el respectivo ayudante y por los documentos y notas basadas en los datos bibliográficos.

La encuesta está conformada por el siguiente cuestionario el cual consta de lo siguiente:

- Pregunta N.- 1 ¿Qué tipos de tratamientos térmicos del acero se realiza en el horno eléctrico tipo mufla?
- Pregunta N.-2¿Qué rango de temperatura generalmente trabaja el horno para realizar tratamientos térmicos en el acero?
- Pregunta N.-3¿Qué tipos de aceros se utilizan en el laboratorio para realizar tratamientos térmicos?
- Pregunta N.-4¿Qué dimensión tienen las probetas usadas comúnmente para realizar los ensayos de tratamientos térmicos?
- Pregunta N.-5¿Con que frecuencia se realizan ensayos de tratamientos térmicos con los estudiantes en el Laboratorio?

## 4.2 INTERPRETACIÓN DE DATOS

A continuación se presentan las interpretaciones de cada pregunta realizada en el cuestionario, la misma que nos ayudara a determinar ciertos parámetros que son muy útiles para el dimensionamiento y control automático del horno de tratamientos térmicos.

Interpretación de los datos en la entrevista dirigida al Ingeniero encargado y ayudante del laboratorio de materiales:

### PREGUNTA N.- 1

¿Qué tipos de tratamientos térmicos del acero se realiza en el horno eléctrico tipo mufla?

Al momento que se realizo la pregunta sobre los tipos de tratamientos térmicos nos supieron manifestar que todos los procesos expuestos en el cuestionario se realizan en el laboratorio de materiales en el transcurso del semestre.

Además nos supieron manifestar que los tratamientos térmicos del acero que se han realizado hasta el momento son prácticamente los más comúnmente conocidos como el Recocido, el Bonificado, Normalizado, Cementación, Austempering y ensayo Jominy; siendo las prácticas que se realizan en el laboratorio muy completas ya que abarca prácticamente todos los tratamientos térmicos, lo que nos ayuda a tener un amplio conocimiento sobre las propiedades mecánicas que podemos variar al realizar este proceso y que generalmente se realizan en diferentes industrias que prestan estos servicios.



## PREGUNTA N.-2

¿Qué rango de temperatura generalmente trabaja el horno para realizar tratamientos térmicos en el acero?

Continuando con la siguiente pregunta que se trata de los rangos de temperatura que generalmente trabaja el horno para realizar tratamientos térmicos nos manifestaron que depende del tratamiento térmico que se va a realizar que por ejemplo para realizar el temple se llega hasta los 850 °C, para el revenido se lo hace hasta los 400 °C, mientras tanto para que el normalizado la temperatura alcanza los 850 °C, también se pudo manifestar que para los tratamientos termoquímicos como el cementado se utiliza una temperatura de 900°C, como para el Austempering una de 870 °C, en cambio para el ensayo jominy la norma ASTM A225-48T indica que se debe trabajar a 850 °C.

Además de esto nos supieron comentar que también depende del tipo de acero que se va a realizar el tratamiento térmico es decir del porcentaje de carbono que contiene un acero, en el horno del laboratorio de materiales se han realizado prácticas con los estudiantes durante el transcurso del semestre llegando a una temperatura máxima de operación de hasta 900 °C lo cual está en el rango de temperatura permitido del horno eléctrico, el mismo que es desde la temperatura ambiente hasta 1200 °C.

## PREGUNTA N.-3

3.- ¿Qué tipos de aceros se utilizan en el laboratorio para realizar tratamientos térmicos?

En esta pregunta nos informaron que las prácticas de tratamientos térmicos que realizan los estudiantes son el acero AISI 1018 o AISI 1020 los mismos que en el catalogo de los tipos de Acero recomienda realizar un proceso de cementación debido a su bajo contenido de carbono, además también se ha realizado ciertos

tratamientos térmicos como es el bonificado, normalizado y austempering utilizando diferentes tipos de acero el AISI 1040 , AISI 1045.

También nos manifestaron sobre un ensayo Jominy que es muy importante saber lo cual el tipo de acero que se utiliza de acuerdo a la norma ASTM designación A255-48T es el acero AISI 4340, de todo esto nos recalcaron que los aceros que generalmente se utilizan para realizar las prácticas con los estudiantes son los que fácilmente se puedan conseguir en el mercado nacional estos pueden ser el acero AISI 1018, 1045 y 4337 conocido como 705 además del acero DF2.

#### PREGUNTA N.-4

¿Qué dimensión tienen las probetas usadas comúnmente para realizar los ensayos de tratamientos térmicos?

Siguiendo con la interpretación de los datos consultados se puede deducir que las probetas de acero que se utilizan para realizar las prácticas con los estudiantes tienen una dimensión de  $\frac{3}{4}$  de pulgada de diámetro con una longitud de 20 mm, también se pudo manifestar que para la realización del ensayo Jominy de acuerdo a la norma ASTM designación A255-48T se necesita probeta cuya dimensión es de 1 pulgada de diámetro con 4 pulgadas de longitud.

También nos comentaron que depende de las dimensiones de la probeta el tiempo de duración del tratamiento térmico haciendo referencia el diámetro o espesor del acero a realizar el tratamiento térmico.

5.- ¿Con qué frecuencia se realizan ensayos de tratamientos térmicos con los estudiantes en el Laboratorio?

Por último en esta pregunta nos informaron que en el semestre anterior que corresponde al periodo Marzo-Agosto del 2012 se realizaron 6 prácticas de

tratamientos térmicos en la materia de procesos de manufactura, además se manifestó que regularmente se realizan 10 prácticas por semestre.

Cabe recalcar que el horno no está sometido a muchas practicas de tratamientos térmicos lo cual se podría aprovechar para darle un mantenimiento adecuado con el fin de evitar posibles daños con el cual se podría alarga día útil de los componentes del equipo.

### 4.3 Interpretación de los datos obtenidos de la investigación

#### BIBLIOGRÁFICA.

#### a) Selección del dispositivo electrónico de control.

Para poder seleccionar el dispositivo adecuado se presenta a continuación una tabla comparativa de las características más sobresalientes de los diferentes dispositivos de control.

Tabla 4.5 Dispositivos de control

Item	PLC	Microcontrolador PIC	PC Industriales	Controlador de temperatura
Precio	Alto	Bajo	Alto	Bajo
Tamaño	Espacio considerable	Poco espacio	Espacio Considerable	Poco espacio
Disponibilidad	Regular	Alto	Bajo	Alto
Software	Propio	Libre	Propio	N/A
Precisión	Alto	Alto	Alto	Alto
Reparación	No	Si	No	Si
Programación	Fácil	Difícil	Difícil	Fácil

Elaborado: Jaime Toasa

Fuente: Marco Teórico

De la tabla 4.5 se puede observar que el microcontrolador PIC y el controlador de temperatura se pueden utilizar para el control del horno debido a que se puede encontrar fácilmente en el mercado a un precio cómodo, para las pruebas de

funcionamiento se utilizará estos dos dispositivos ya que el controlador de temperatura TIPO E5CN OMRON se encuentra disponible en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica el cual cumple con los rangos de temperatura necesitados.

### b) Termocupla

De acuerdo con la temperatura que va a trabajar el horno que es de 1100 °C y apoyándonos con el marco teórico en donde nos indica las características técnicas de cada una de las termocuplas utilizamos una termocupla tipo K la misma que está diseñada para trabajar hasta un temperatura de 1260°C además se puede encontrar con facilidad en el mercado nacional. En la tabla 4.6 se presenta las termocuplas más utilizadas en hornos eléctricos conjuntamente con los rangos de operación.

Tabla 4.6 Tipos de Termocuplas

Designación	Rango Típico(°C)	Material de unión	Sensibilidad(uV/°C)
B	38 a 1800	Pt6%/Rodio – Pt30%/Rodio	7.7
C	0 a 2300	Tg(5%)/Renio – Tg(26%)7Renio	16
E	0 a 928	Cromo – Constatan	76
J	0 a 760	Hierro – Constatan	55
K	-184 a 1260	Cromo – Aluminio	39
R	0 a 1593	Pt(13%)/Rodio – Pt	11.7
S	0 a 1538	Pt(10%)/Rodio – Pt	10.4
T	-184 a 400	Cobre – Constatan	45

Elaborado: Jaime Toasa  
Fuente: Marco Teórico

### c) Temporizador.

Para la selección del temporizador se considero el rango de tiempo necesario para realizar un tratamiento térmico en el acero, para nuestro caso se opto de un temporizador tipo H3BA OMRON , disponible en el laboratorio de la Facultad de

Ingeniería Civil y Mecánica el mismo que cumple con los parámetros necesarios (Ver características en el anexo 13).

#### **d) Sistema de control**

El sistema de control que se emplea en un horno es un sistema de control de lazo cerrado, ya que en él las señales de salida y de entrada están relacionadas mediante un bucle de realimentación, a través del cual la señal de salida influye sobre la de entrada. De esta forma, la señal de salida tiene efecto sobre la acción de control.

A continuación se presenta una tabla comparativa de las características del control ON/OFF y P.I.D.

Tabla 4.7 Características Control ON/OFF y P.I.D

<b>Características</b>	<b>ON/OFF</b>	<b>P.I.D</b>
Estabilidad térmica	Baja	Alta
Rapidez de respuesta	Alta	Media
Autocorrección del error	No	Si
Dificultad de cálculo	Baja	Alta

Elaborado: Jaime Toasa  
Fuente: Marco Teórico

De esta tabla se puede observar que el sistema más adecuado es el P.I.D (Control Proporcional Integral Derivativa) debido a los beneficios que presenta en la estabilización de temperaturas.

#### **4.6. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.**

El uso del controlador de temperatura TIPO E5CN OMRON y el temporizador tipo H3BA OMRON disponibles en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica permiten regular los tiempos en los procesos térmicos que se realizan en el horno además dichos elementos presentan grandes ventajas en cuanto a la visualización y manejo del horno y mejora notablemente la estabilidad térmica dentro del mismo, además que facilita la utilización de éste, lo que muestra que implementar este sistema es la opción más adecuada para el uso en el laboratorio.

Además también se construyó una placa electrónica mediante el uso de un PIC 16f819 con el fin de poder determinar cuál de estos dos sistemas es el más adecuado para la implementación del horno eléctrico.

Para comprobar cuál fue el sistema más adecuado se ha realizado diferentes pruebas de funcionamiento en vacío comprobando los valores de temperatura mediante la ayuda de un Pirómetro.

También se realizó dos ensayos de tratamientos térmicos en el acero para poder comparar la microestructura y la dureza.

A continuación se presentan los datos obtenidos durante las mediciones de temperatura en el horno así como también los resultados obtenidos en las pruebas de tratamientos térmicos en el acero.

Medición de la temperatura mediante el uso del control de temperatura OMRON.

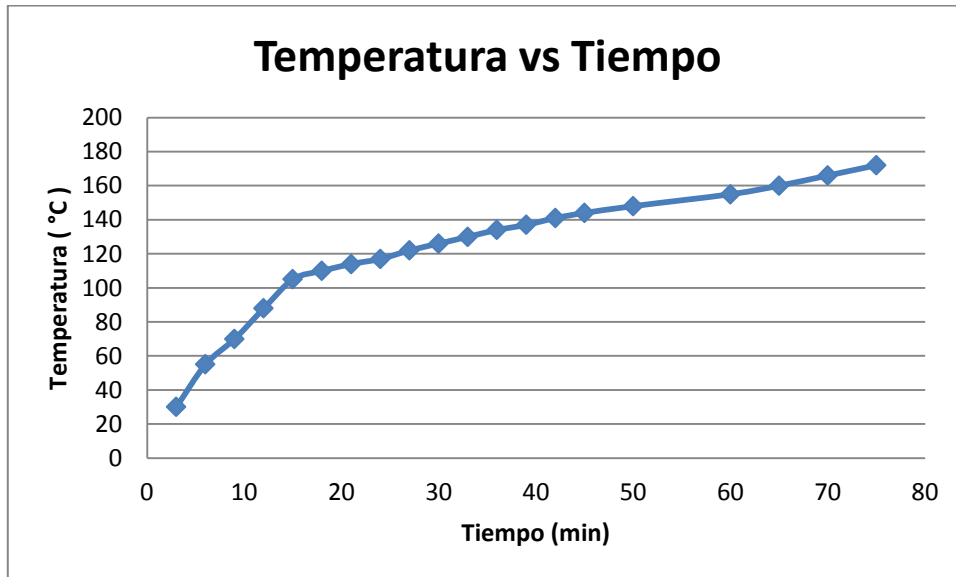


**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Tabla 4.12 Medición de la temperatura con el controlador tipo E5CN OMRON.  
 Elaborado: Jaime Toasa

Medición de la temperatura mediante el uso del control de temperatura OMRON.			
Datos informativos:			
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Medicion N.-	1
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	10/06/2012
Centro de estudio y analisis:	Laboratorio de Materiales-FICM		
Realizado por:	Jaime Toasa	Supervisado por :	Ing.Santiago Villacís
Parámetros ambientales del lugar durante el ensayo:			
Lugar:	Sector de Huachi Chico/Campus Universitario -UTA		
Temperatura ambiente	25.2 °C		
Número de Mediciones	Tiempo (min)	Temperatura °C	Medición con el pirómetro
1	3	30	29
2	6	55	56
3	9	70	71
4	12	88	86
5	15	105	103
6	18	110	112
7	21	114	113
8	24	117	118
9	27	122	121
10	30	126	125
11	33	130	131
12	36	134	133
13	39	137	136
14	42	141	141
15	45	144	145
16	50	148	147
17	60	155	154
18	65	160	158
19	70	166	164
20	75	172	173

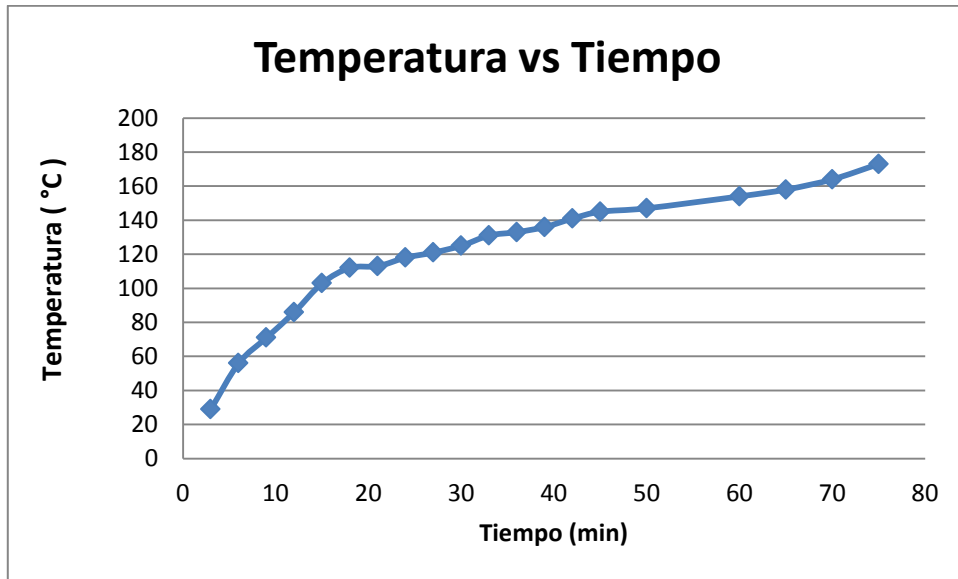
Para tener una mejor comprensión de estos datos a continuación se representa en la gráfica 4.1:



**Gráfico 4.1** Temperatura Vs Tiempo medida con el controlador de temperatura.  
Elaborado: Jaime Toasa

Con estos datos obtenidos se procede a calcular una media de la temperatura de operación del horno para luego compararla con el otro sistema de control y así poder determinar la exactitud que existe entre estos, lo que corresponde a  $121,2^{\circ}\text{C}$ .





**Gráfico 4.2** Temperatura Vs Tiempo medida con el Pirómetro.  
Elaborado: Jaime Toasa

Teniendo así un promedio de temperaturas medidas en el horno de 120.8 °C, tomadas con la ayuda de un pirómetro para comprobar la precisión del controlador de temperatura para luego compararla con el otro sistema de control y así poder determinar cuál de los dos sistemas es el mejor.

Medición de la temperatura mediante el uso de una placa electrónica.

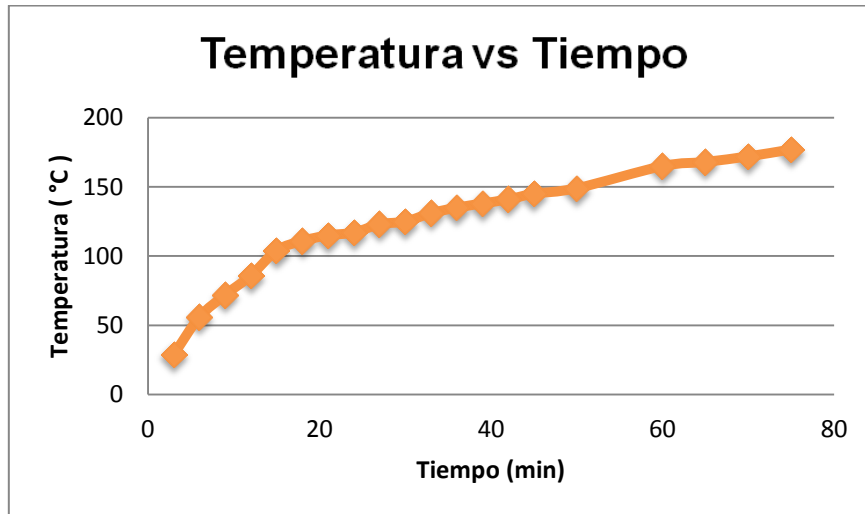


**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Tabla 4.13 Medición de la temperatura con la placa electrónica.  
Elaborado: Jaime Toasa

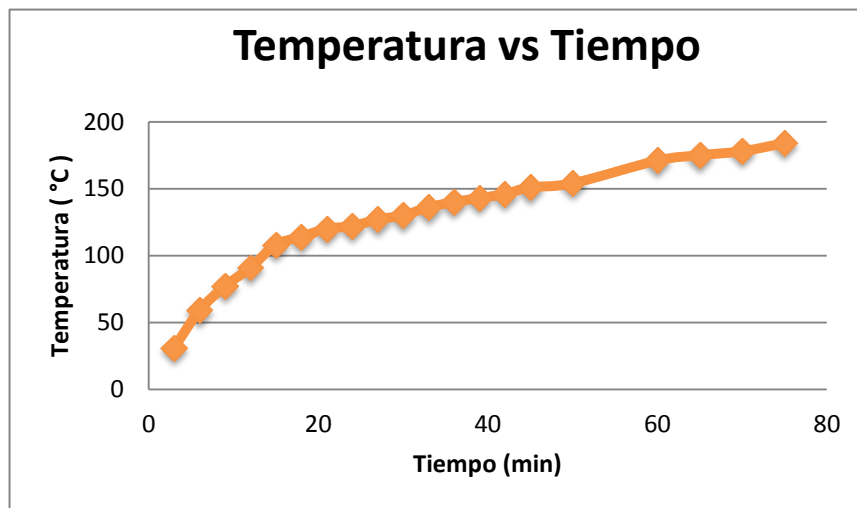
Medición de la temperatura mediante el uso de la placa electrónica.			
Datos informativos:			
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Medicion N.-	1
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	10/06/2012
Centro de estudio y analisis:	Laboratorio de Materiales-FICM		
Realizado por:	Jaime Toasa	Supervisado por :	Ing.Santiago Villacís
Parámetros ambientales del lugar durante el ensayo:			
Lugar:	Sector de Huachi Chico/Campus Universitario -UTA		
Temperatura ambiente	25.2 °C		
Número de Mediciones	Tiempo (min)	Temperatura °C	Medición con el pirómetro
1	3	29	31
2	6	56	59
3	9	72	77
4	12	86	91
5	15	104	108
6	18	111	114
7	21	115	120
8	24	117	122
9	27	123	127
10	30	125	130
11	33	131	136
12	36	135	140
13	39	138	143
14	42	141	146
15	45	145	151
16	50	149	154
17	60	165	171
18	65	168	175
19	70	172	178
20	75	177	184

Para tener una mejor comprensión de estos datos a continuación se representa en la gráfica 4.3:



**Gráfico 4.3** Temperatura Vs Tiempo medida con la placa electrónica.  
Elaborado: Jaime Toasa

Teniendo así un promedio de temperaturas medidas en el horno de 122,95 °C, con la placa electrónica.



**Gráfico 4.4** Temperatura Vs Tiempo medida con el Pirómetro.  
Elaborado: Jaime Toasa

Teniendo así un promedio de temperaturas medidas en el horno de 127,85 °C, tomadas con la ayuda de un pirómetro para comprobar la precisión de la placa electrónica.

De todos estos datos se puede evidenciar que el sistema más exacto es con el controlador de temperatura tipo E5CN OMRON el mismo que tiene un control PID, lo cual se pudo comprobar que la temperatura se ajusta más a la medida realizada con el pirómetro.

### **Pruebas de tratamiento térmico en el Acero.**

El acero que se utilizó para realizar el temple fue el AISI 01 también conocido como DF2 para realizar el análisis de la microestructura y dureza antes y después de realizar el tratamiento térmico.

Las probetas que se utilizaron para realizar el tratamiento térmico constan de las siguientes dimensiones, diámetro de  $\frac{3}{4}$  de pulgada con una longitud de 20 mm las cuales se necesitaron de ocho probetas las mismas que se realizaron un ensayo de la microestructura y dureza.

Con la finalidad de obtener un correcto manejo de los resultados y de la información correspondiente a los ensayos realizados durante el desarrollo del trabajo se ha establecido un formato para la toma de datos y resultados, para conocer las propiedades de interés en el estudio realizado.

Evaluación del Acero AISI 01 como viene de fabrica.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**


Tabla 4.14 Evaluación del Acero AISI 01 como viene de fábrica.  
Elaborado: Jaime Toasa

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS				
Probeta N.- 1	Autorizado por	Ing.S.Villacís	Realizado por:	Jaime Toasa
Lugar de realización : Laboratorio de Materiales			Fecha de ejecución: 10/06/2012	
Temperatura ambiente del lugar: 20 °C			Flujo de aire del medio: Estático	
ESPECIFICACIONES DEL ACERO UTILIZADO				
Detalle Referencial				
Especificación Material	Acero	Tipo o grado	AISI 01 DF2	
Diámetro:	1/2 Pulgada	Resistencia a la tracción:	641 N/mm <sup>2</sup>	
Longitud:	20 mm	Dureza:	190 HB	
Características	Eje	Tratamiento térmico:	Recocido	
Observación:				
Propiedades mecánicas tomadas del catalogo de Bohler del Acero AISI 01 como viene de fábrica.				



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Tabla 4.15 Evaluación de la Microestructura del Acero AISI 01 como viene de fábrica.  
 Elaborado: Jaime Toasa

<b>ENSAYO METALGRÁFICO</b>			
Datos Informativos			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo N.-	01
Identificación del componente de estudio	<b>Probeta N.-</b>		<b>01</b>
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	10/06/2012
Centro de Estudio y Análisis		Laboratorio de Materiales-FICM	
Realizado por:	Jaime Toasa	Supervisado por:	Ing.S. Villacís
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO			
Lugar:	Sector Huachi Chico /Campus Universitario-UTA		
Temperatura ambiente del lugar: 20 °C			
Otros:			
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO			
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Lijas utilizadas:	Lija de agua (240,320,400,600)		
Ataque Químico de la superficie con:		Nital 2	Durante: 40 seg
<b>RESULTADO:</b>			
<b>Microestructura del Acero AISI 01 como viene de fabrica a 100x</b>			
			
<b>Acero AISI 01 100 X 40 seg Nital 2</b>			



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Tabla 4.16 Evaluación de la Dureza del Acero AISI 01 como viene de fábrica.  
 Elaborado: Jaime Toasa

<b>ENSAYO DE DUREZA</b>			
<b>Datos Informativos</b>			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo N.-	01
Identificación del componente de estudio	<b>Probeta N.-</b>		<b>01</b>
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	10/06/2012
Centro de Estudio y Análisis		Laboratorio de Materiales-FICM	
Realizado por:	Jaime Toasa	Supervisado por:	Ing.S. Villacís
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
Lugar:	Sector Huachi Chico /Campus Universitario-UTA		
Temperatura ambiente del lugar: 20 °C			
Otros:			
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA</b>			
Tipo de dureza utilizada:		Brinell (HB)	
Tipo de penetrador:	Identador de bola de acero de 2,5 mm de diámetro		
Carga aplicada:	1839 N	Tiempo de ensayo :20 min	
Mediciones	Diámetro de huella(mm)	Dureza Brinell (HB)	
1	1.12	180	
2	1.10	187	
3	1.095	189	
4	1.11	184	
<b>Promedio</b>		<b>185</b>	
<b>Resultado:</b> La dureza promedio del Acero AISI 01 como viene de fabrica fue de 185 HB que en comparación con el catalogo de Aceros Bohler es de 190 HB.			

Evaluación de las probetas de Acero AISI 01 Templadas en aceite SAE 20w50 como medio de enfriamiento además utilizando el sistema de control con el controlador de temperatura tipo E5CN OMRON.

Tabla 4.17 Especificaciones del tratamiento térmico con aceite 20w50.  
Elaborado: Jaime Toasa

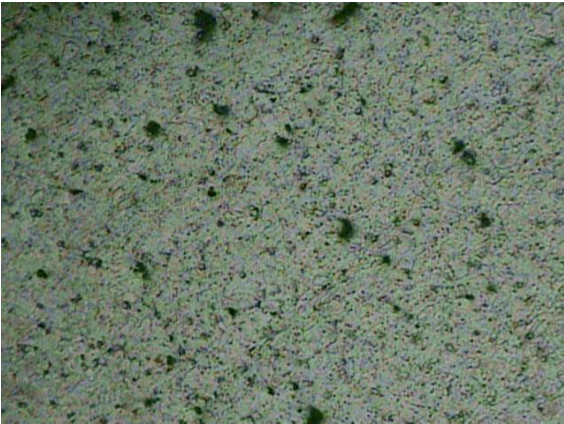
<b>REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS</b>					
ENSAYO 1					
<b>Probeta N.-</b>	<b>02</b>	Autorizado por:	Ing.Villacís	Realizado por:	Jaime Toasa
Lugar de realización :Laboratorio de materiales FICM				Fecha de ejecución: 10/06/2012	
Temperatura ambiente del lugar:			20 °C	Flujo de aire :	Estático
<b>ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO</b>					
Tratamiento Térmico:	Temple	Temperatura del temple	790 °C	Tiempo de permanencia:	30 minutos
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Aceite SAE 20W50		Detalle referencial
Tiempo de permanencia medio de enfriamiento:		Hasta el enfriamiento	Densidad del Aceite: 875 Kg/m <sup>3</sup>		
Especificaciones material:		Acero	Viscosidad:16.2 cst		
Tipo o grado:	AISI 01	Volumen del medio : ¼ de Galón			
Diámetro:	¾ Pulgada	Temperatura del medio de enfriamiento:		17 °C	
Longitud:	20 mm				
Características:	Eje				





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Tabla 4.18 Microestructura del Acero AISI 01 templada en aceite SAE 20W50.  
 Elaborado: Jaime Toasa

<b>ENSAYO METALGRÁFICO</b>			
Datos Informativos			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo N.-	01
Identificación del componente de estudio	<b>Probeta N.-</b>		<b>02</b>
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	10/06/2012
Centro de Estudio y Análisis		Laboratorio de Materiales-FICM	
Realizado por:	Jaime Toasa	Supervisado por:	Ing.S. Villacís
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO			
Lugar:	Sector Huachi Chico /Campus Universitario-UTA		
Temperatura ambiente del lugar: 20 °C			
Otros:			
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO			
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Lijas utilizadas:	Lija de agua (240,320,400,600)		
Ataque Químico de la superficie con:		Nital 2	Durante: 15 seg
<b>RESULTADO:</b>			
<b>Microestructura del Acero AISI 01 templada en aceite SAE 20W50 a 100x</b>			
			
<b>Acero AISI 01 Templado 100 X 15 seg Nital 2</b>			




**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Tabla 4.19 Dureza del Acero AISI 01 templado en Aceite SAE 20W50  
 Elaborado: Jaime Toasa

ENSAYO DE DUREZA			
Datos Informativos			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo N.-	01
Identificación del componente de estudio	<b>Probeta N.-</b>		<b>02</b>
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	10/06/2012
Centro de Estudio y Análisis		Laboratorio de Materiales-FICM	
Realizado por:	Jaime Toasa	Supervisado por:	Ing.S. Villacís
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO			
Lugar:	Sector Huachi Chico /Campus Universitario-UTA		
Temperatura ambiente del lugar: 20 °C			
Otros:			
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de dureza utilizada:		Rockwell C (HRC)	
Tipo de penetrador:	Cono de diamante		
Carga aplicada:	1471 N	Tiempo de ensayo :20 min	
Mediciones		Dureza Rockwell C (HRC)	
1		59	
2		62	
3		64	
4		62	
<b>Promedio</b>		<b>61.75</b>	
<b>Interpretacion:</b> La dureza alcanzada es aceptable pues está dentro del rango que es de hasta 65 HRC según el catálogo Bohler una vez que se ha realizado el temple y enfriándolo en un medio convencional como es el ACEITE SAE 20W50.			

Evaluación de las probetas de Acero AISI 01 Templadas en aceite SAE 40 como medio de enfriamiento además utilizando el sistema de control con el controlador de temperatura tipo E5CN OMRON.


Tabla 4.20 Especificaciones del tratamiento térmico con aceite SAE 40.  
Elaborado: Jaime Toasa

<b>REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS</b>					
ENSAYO 2					
<b>Probeta N.-</b>	<b>03</b>	Autorizado por:	Ing.Villacís	Realizado por:	Jaime Toasa
Lugar de realización :Laboratorio de materiales FICM				Fecha de ejecución: 10/06/2012	
Temperatura ambiente del lugar:			20 °C	Flujo de aire :	Estático
<b>ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO</b>					
Tratamiento Térmico:	Temple	Temperatura del temple	790 °C	Tiempo de permanencia:	30 minutos
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Aceite SAE 40		Detalle referencial
Tiempo de permanencia medio de enfriamiento:		Hasta el enfriamiento	Densidad del Aceite: 890 Kg/m <sup>3</sup>		
Especificaciones material:		Acero	Viscosidad:12.5 cst		
Tipo o grado:	AISI 01	Volumen del medio : ¼ de Galón			
Diámetro:	¾ Pulgada	Temperatura del medio de enfriamiento:		17 °C	
Longitud:	20 mm				
Características:	Eje				



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Tabla 4.21 Microestructura del Acero AISI 01 templada en aceite SAE 40.  
 Elaborado: Jaime Toasa

<b>ENSAYO METALGRÁFICO</b>			
Datos Informativos			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo N.-	02
Identificación del componente de estudio	<b>Probeta N.-</b>		<b>03</b>
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	10/06/2012
Centro de Estudio y Análisis		Laboratorio de Materiales-FICM	
Realizado por:	Jaime Toasa	Supervisado por:	Ing.S. Villacís
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO			
Lugar:	Sector Huachi Chico /Campus Universitario-UTA		
Temperatura ambiente del lugar: 20 °C			
Otros:			
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO			
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Lijas utilizadas:	Lija de agua (240,320,400,600)		
Ataque Químico de la superficie con:		Nital 2	Durante: 15 seg
<b>RESULTADO:</b>			
<b>Microestructura del Acero AISI 01 templada en aceite SAE 40 a 100x</b>			
			
<b>Acero AISI 01 Templado 100 X 15 seg Nital 2</b>			




**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Tabla 4.22 Dureza del Acero AISI 01 templado en Aceite SAE 40  
 Elaborado: Jaime Toasa

<b>ENSAYO DE DUREZA</b>			
<b>Datos Informativos</b>			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo N.-	02
Identificación del componente de estudio	<b>Probeta N.-</b>		<b>03</b>
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	10/06/2012
Centro de Estudio y Análisis		Laboratorio de Materiales-FICM	
Realizado por:	Jaime Toasa	Supervisado por:	Ing.S. Villacís
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
Lugar:	Sector Huachi Chico /Campus Universitario-UTA		
Temperatura ambiente del lugar: 20 °C			
Otros:			
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA</b>			
Tipo de dureza utilizada:		Rockwell C (HRC)	
Tipo de penetrador:	Cono de diamante		
Carga aplicada:	1471 N	Tiempo de ensayo :20 min	
Mediciones		Dureza Rockwell C (HRC)	
1		63	
2		65	
3		62	
4		60	
<b>Promedio</b>		<b>62.5</b>	
<b>Interpretacion:</b> La dureza alcanzada es aceptable pues está dentro del rango que es de hasta 65 HRC según el catálogo Bohler una vez que se ha realizado el temple y enfriándolo en un medio convencional como es el ACEITE SAE 40.			

Evaluación de las probetas de Acero AISI 01 Templadas en aceite quemado SAE 20W50 como medio de enfriamiento además utilizando el sistema de control con el controlador de temperatura tipo E5CN OMRON.


Tabla 4.23 Especificaciones del tratamiento térmico con aceite quemado SAE 20W50.  
Elaborado: Jaime Toasa

<b>REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS</b>					
ENSAYO 3					
<b>Probeta N.-</b>	<b>04</b>	Autorizado por:	Ing.Villacís	Realizado por:	Jaime Toasa
Lugar de realización :Laboratorio de materiales FICM			Fecha de ejecución: 10/06/2012		
Temperatura ambiente del lugar:		20 °C		Flujo de aire :	Estático
<b>ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO</b>					
Tratamiento Térmico:	Temple	Temperatura del temple	790 °C	Tiempo de permanencia:	30 minutos
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Aceite quemado SAE 20W50		Detalle referencial
Tiempo de permanencia medio de enfriamiento:		Hasta el enfriamiento	Densidad del Aceite: 875 Kg/m <sup>3</sup>		
Especificaciones material:		Acero	Viscosidad: 16.2 cst		
Tipo o grado:	AISI 01	Volumen del medio : ¼ de Galón			
Diámetro:	¾ Pulgada	Temperatura del medio de enfriamiento:		17 °C	
Longitud:	20 mm				
Características:	Eje				



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Tabla 4.24 Microestructura del Acero AISI 01 templada en aceite quemado SAE 20W50.  
Elaborado: Jaime Toasa

<b>ENSAYO METALGRÁFICO</b>			
Datos Informativos			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo N.-	03
Identificación del componente de estudio	<b>Probeta N.-</b>		<b>04</b>
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	10/06/2012
Centro de Estudio y Análisis		Laboratorio de Materiales-FICM	
Realizado por:	Jaime Toasa	Supervisado por:	Ing.S. Villacís
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
Lugar:	Sector Huachi Chico /Campus Universitario-UTA		
Temperatura ambiente del lugar: 20 °C			
Otros:			
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO</b>			
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Lijas utilizadas:	Lija de agua (240,320,400,600)		
Ataque Químico de la superficie con:		Nital 2	Durante: 15 seg
<b>RESULTADO:</b>			
<b>Microestructura del Acero AISI 01 templada en aceite quemado SAE 20W50 a 100x</b>			
			
<b>Acero AISI 01 Templado 100 X 15 seg Nital 2</b>			



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**


Tabla 4.25 Dureza del Acero AISI 01 templado en aceite quemado SAE 20W50  
 Elaborado: Jaime Toasa

<b>ENSAYO DE DUREZA</b>			
Datos Informativos			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo N.-	03
Identificación del componente de estudio	<b>Probeta N.-</b>		<b>04</b>
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	10/06/2012
Centro de Estudio y Análisis		Laboratorio de Materiales-FICM	
Realizado por:	Jaime Toasa	Supervisado por:	Ing.S. Villacís
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
Lugar:	Sector Huachi Chico /Campus Universitario-UTA		
Temperatura ambiente del lugar: 20 °C			
Otros:			
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA</b>			
Tipo de dureza utilizada:		Rockwell C (HRC)	
Tipo de penetrador:	Cono de diamante		
Carga aplicada:	1471 N	Tiempo de ensayo :20 min	
Mediciones		Dureza Rockwell C (HRC)	
1		57	
2		61	
3		63	
4		60	
<b>Promedio</b>		<b>60.25</b>	
<b>Interpretacion:</b> La dureza alcanzada es aceptable pues está dentro del rango que es de hasta 65 HRC según el catálogo Bohler una vez que se ha realizado el temple y enfriándolo en un medio convencional como es el ACEITE QUEMADO SAE 20W50.			



Evaluación de las probetas de Acero AISI 01 Templadas en Agua como medio de enfriamiento además utilizando el sistema de control con el controlador de temperatura tipo E5CN OMRON.


Tabla 4.26 Especificaciones del tratamiento térmico con Agua.  
Elaborado: Jaime Toasa

<b>REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS</b>					
ENSAYO 4					
<b>Probeta N.-</b>	<b>05</b>	Autorizado por:	Ing.Villacís	Realizado por:	Jaime Toasa
Lugar de realización :Laboratorio de materiales FICM				Fecha de ejecución: 10/06/2012	
Temperatura ambiente del lugar:		20 °C		Flujo de aire :	Estático
<b>ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO</b>					
Tratamiento Térmico:	Temple	Temperatura del temple	790 °C	Tiempo de permanencia:	30 minutos
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Agua		Detalle referencial
Tiempo de permanencia medio de enfriamiento:		Hasta el enfriamiento	Densidad del Agua: 998 kg/m <sup>3</sup>		
Especificaciones material:		Acero	Viscosidad: 1.0038 cst		
Tipo o grado:	AISI 01	Volumen del medio : ¼ de Galón			
Diámetro:	¾ Pulgada	Temperatura del medio de enfriamiento:		16 °C	
Longitud:	20 mm				
Características:	Eje				



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Tabla 4.27 Microestructura del Acero AISI 01 templada en Agua.  
 Elaborado: Jaime Toasa

<b>ENSAYO METALGRÁFICO</b>			
Datos Informativos			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo N.-	04
Identificación del componente de estudio	<b>Probeta N.- 05</b>		
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	10/06/2012
Centro de Estudio y Análisis		Laboratorio de Materiales-FICM	
Realizado por:	Jaime Toasa	Supervisado por:	Ing.S. Villacís
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO			
Lugar:	Sector Huachi Chico /Campus Universitario-UTA		
Temperatura ambiente del lugar: 20 °C			
Otros:			
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO			
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Lijas utilizadas:	Lija de agua (240,320,400,600)		
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante: 15 seg	
<b>RESULTADO:</b>			
<b>Microestructura del Acero AISI 01 templada en Agua a 100x</b>			
			
<b>Acero AISI 01 Templado 100 X 15 seg Nital 2</b>			




**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Tabla 4.28 Dureza del Acero AISI 01 templado en Agua  
 Elaborado: Jaime Toasa

<b>ENSAYO DE DUREZA</b>			
<b>Datos Informativos</b>			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo N.-	04
Identificación del componente de estudio	<b>Probeta N.-</b>		<b>05</b>
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	10/06/2012
Centro de Estudio y Análisis		Laboratorio de Materiales-FICM	
Realizado por:	Jaime Toasa	Supervisado por:	Ing.S. Villacís
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
Lugar:	Sector Huachi Chico /Campus Universitario-UTA		
Temperatura ambiente del lugar: 20 °C			
Otros:			
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA</b>			
Tipo de dureza utilizada:		Rockwell C (HRC)	
Tipo de penetrador:	Cono de diamante		
Carga aplicada:	1471 N	Tiempo de ensayo :20 min	
Mediciones		Dureza Rockwell C (HRC)	
1		63	
2		60	
3		61	
4		64	
<b>Promedio</b>		<b>62</b>	
<b>Interpretacion:</b> La dureza alcanzada es aceptable pues está dentro del rango que es de hasta 65 HRC según el catálogo Bohler una vez que se ha realizado el temple y enfriándolo en un medio convencional como es en Agua.			

Evaluación de las probetas de Acero AISI 01 Templadas en aceite SAE 20W50 como medio de enfriamiento además utilizando el sistema de control mediante una placa electrónica.


Tabla 4.29 Especificaciones del tratamiento térmico en aceite 20W50 con la placa electrónica  
Elaborado: Jaime Toasa

<b>REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS</b>					
ENSAYO 5					
<b>Probeta N.-</b>	<b>02</b>	Autorizado por:	Ing.Villacís	Realizado por:	Jaime Toasa
Lugar de realización :Laboratorio de materiales FICM				Fecha de ejecución: 10/06/2012	
Temperatura ambiente del lugar:			20 °C	Flujo de aire :	Estático
<b>ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO</b>					
Tratamiento Térmico:	Temple	Temperatura del temple	790 °C	Tiempo de permanencia:	30 minutos
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Aceite SAE 20W50		Detalle referencial
Tiempo de permanencia medio de enfriamiento:		Hasta el enfriamiento	Densidad del Aceite: 875 Kg/m <sup>3</sup>		
Especificaciones material:		Acero	Viscosidad:16.2 cst		
Tipo o grado:	AISI 01	Volumen del medio : ¼ de Galón			
Diámetro:	¾ Pulgada	Temperatura del medio de enfriamiento:		17 °C	
Longitud:	20 mm				
Características:	Eje				



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Tabla 4.30 Microestructura del Acero AISI 01 templada en aceite SAE 20W50 con la placa electrónica.  
Elaborado: Jaime Toasa

<b>ENSAYO METALGRÁFICO</b>			
Datos Informativos			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo N.-	05
Identificación del componente de estudio	<b>Probeta N.-</b>		<b>06</b>
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	10/06/2012
Centro de Estudio y Análisis		Laboratorio de Materiales-FICM	
Realizado por:	Jaime Toasa	Supervisado por:	Ing.S. Villacís
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO			
Lugar:	Sector Huachi Chico /Campus Universitario-UTA		
Temperatura ambiente del lugar: 20 °C			
Otros:			
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO			
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Lijas utilizadas:	Lija de agua (240,320,400,600)		
Ataque Químico de la superficie con:		Nital 2	Durante: 15 seg
<b>RESULTADO:</b>			
<b>Microestructura del Acero AISI 01 templada en aceite SAE 20W50 a 100x</b>			
			
<b>Acero AISI 01 Templado 100 X 15 seg Nital 2</b>			



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Tabla 4.31 Dureza del Acero AISI 01 templado en Aceite SAE 20W50 con la placa electrónica.  
 Elaborado: Jaime Toasa

<b>ENSAYO DE DUREZA</b>			
<b>Datos Informativos</b>			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo N.-	05
Identificación del componente de estudio	<b>Probeta N.-</b>		<b>06</b>
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	10/06/2012
Centro de Estudio y Análisis		Laboratorio de Materiales-FICM	
Realizado por:	Jaime Toasa	Supervisado por:	Ing.S. Villacís
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
Lugar:	Sector Huachi Chico /Campus Universitario-UTA		
Temperatura ambiente del lugar: 20 °C			
Otros:			
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA</b>			
Tipo de dureza utilizada:		Rockwell C (HRC)	
Tipo de penetrador:	Cono de diamante		
Carga aplicada:	1471 N	Tiempo de ensayo :20 min	
Mediciones		Dureza Rockwell C (HRC)	
1		52	
2		54	
3		53	
4		55	
<b>Promedio</b>		<b>53.5</b>	
<b>Interpretación:</b> La dureza alcanzada mediante el uso de la placa electrónica bajo considerablemente en comparación con el controlador de temperatura lo cual no se obtuvo los valores acordes con el catalogo Bohler que es de 65HRC.			

Evaluación de las probetas de Acero AISI 01 Templadas en aceite SAE 40 como medio de enfriamiento además utilizando el sistema de control mediante el uso de una placa electrónica.

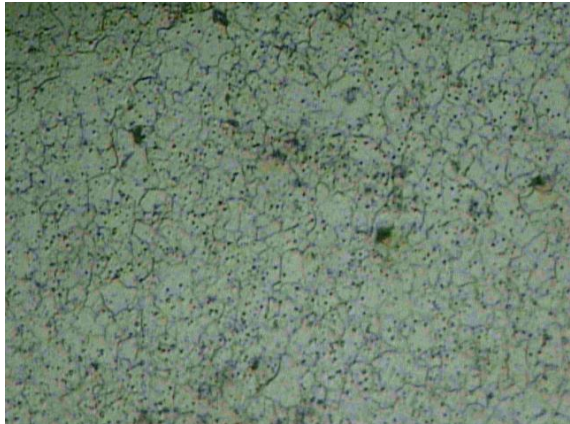
Tabla 4.32 Especificaciones del tratamiento térmico con aceite SAE 40 con la placa electrónica.  
Elaborado: Jaime Toasa

<b>REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS</b>					
ENSAYO 6					
<b>Probeta N.-</b>	<b>07</b>	Autorizado por:	Ing.Villacís	Realizado por:	Jaime Toasa
Lugar de realización :Laboratorio de materiales FICM				Fecha de ejecución: 10/06/2012	
Temperatura ambiente del lugar:			20 °C	Flujo de aire :	Estático
<b>ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO</b>					
Tratamiento Térmico:	Temple	Temperatura del temple	790 °C	Tiempo de permanencia:	30 minutos
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Aceite SAE 40		Detalle referencial
Tiempo de permanencia medio de enfriamiento:		Hasta el enfriamiento	Densidad del Aceite: 890 Kg/m <sup>3</sup>		
Especificaciones material:		Acero	Viscosidad:12.5 cst		
Tipo o grado:	AISI 01	Volumen del medio : ¼ de Galón			
Diámetro:	¾ Pulgada	Temperatura del medio de enfriamiento:		17 °C	
Longitud:	20 mm				
Características:	Eje				



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Tabla 4.33 Microestructura del Acero AISI 01 templada en aceite SAE 40 con la placa electrónica.  
 Elaborado: Jaime Toasa

<b>ENSAYO METALGRÁFICO</b>			
Datos Informativos			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo N.-	06
Identificación del componente de estudio	<b>Probeta N.-</b>		<b>07</b>
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	10/06/2012
Centro de Estudio y Análisis		Laboratorio de Materiales-FICM	
Realizado por:	Jaime Toasa	Supervisado por:	Ing.S. Villacís
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO			
Lugar:	Sector Huachi Chico /Campus Universitario-UTA		
Temperatura ambiente del lugar: 20 °C			
Otros:			
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO			
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Lijas utilizadas:	Lija de agua (240,320,400,600)		
Ataque Químico de la superficie con:		Nital 2	Durante: 15 seg
<b>RESULTADO:</b>			
<b>Microestructura del Acero AISI 01 templada en aceite SAE 40 a 100x</b>			
			
<b>Acero AISI 01 Templado 100 X 15 seg Nital 2</b>			






**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Tabla 4.34 Dureza del Acero AISI 01 templado en Aceite SAE 40 con la placa electrónica.  
 Elaborado: Jaime Toasa

<b>ENSAYO DE DUREZA</b>			
<b>Datos Informativos</b>			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo N.-	06
Identificación del componente de estudio	<b>Probeta N.-</b>		<b>07</b>
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	10/06/2012
Centro de Estudio y Análisis		Laboratorio de Materiales-FICM	
Realizado por:	Jaime Toasa	Supervisado por:	Ing.S. Villacís
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
Lugar:	Sector Huachi Chico /Campus Universitario-UTA		
Temperatura ambiente del lugar: 20 °C			
Otros:			
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA</b>			
Tipo de dureza utilizada:		Rockwell C (HRC)	
Tipo de penetrador:	Cono de diamante		
Carga aplicada:	1471 N	Tiempo de ensayo :20 min	
Mediciones		Dureza Rockwell C (HRC)	
1		48	
2		51	
3		47	
4		49	
<b>Promedio</b>		<b>48.75</b>	
<b>Interpretacion:</b> La dureza alcanzada no está dentro del rango que es de hasta 65 HRC según el catálogo Bohler una vez que se ha realizado el temple y enfriándolo en un medio convencional como es el ACEITE SAE 40.			

Evaluación de las probetas de Acero AISI 01 Templadas en aceite quemado SAE 20W50 como medio de enfriamiento además utilizando el sistema de control mediante el uso de la placa electrónica.


Tabla 4.35 Especificaciones del tratamiento térmico con aceite quemado SAE 20W50 con la placa electrónica.  
Elaborado: Jaime Toasa

<b>REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS</b>						
ENSAYO 7						
<b>Probeta N.-</b>	<b>08</b>	Autorizado por:	Ing.Villacís	Realizado por:	Jaime Toasa	
Lugar de realización :Laboratorio de materiales FICM			Fecha de ejecución: 10/06/2012			
Temperatura ambiente del lugar:		20 °C		Flujo de aire :	Estático	
<b>ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO</b>						
Tratamiento Térmico:	Temple	Temperatura del temple	790 °C	Tiempo de permanencia:	30 minutos	
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Aceite quemado SAE 20W50		Detalle referencial	
Tiempo de permanencia medio de enfriamiento:		Hasta el enfriamiento	Densidad del Aceite: 875 Kg/m <sup>3</sup>			
Especificaciones material:		Acero	Viscosidad:16.2 cst			
Tipo o grado:	AISI 01		Volumen del medio : ¼ de Galón			
Diámetro:	¾ Pulgada		Temperatura del medio de enfriamiento:	17 °C		
Longitud:	20 mm					
Características:	Eje					



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Tabla 4.36 Microestructura del Acero AISI 01 templada en aceite quemado SAE 20W50 con la placa electrónica.  
Elaborado: Jaime Toasa

<b>ENSAYO METALGRÁFICO</b>			
Datos Informativos			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo N.-	07
Identificación del componente de estudio	<b>Probeta N.-</b>		<b>08</b>
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	10/06/2012
Centro de Estudio y Análisis		Laboratorio de Materiales-FICM	
Realizado por:	Jaime Toasa	Supervisado por:	Ing.S. Villacís
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO			
Lugar:	Sector Huachi Chico /Campus Universitario-UTA		
Temperatura ambiente del lugar: 20 °C			
Otros:			
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO			
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Lijas utilizadas:	Lija de agua (240,320,400,600)		
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante: 15 seg	
<b>RESULTADO:</b>			
<b>Microestructura del Acero AISI 01 templada en aceite quemado SAE 20W50 a 100x</b>			
			
<b>Acero AISI 01 Templado 100 X 15 seg Nital 2</b>			




**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Tabla 4.37 Dureza del Acero AISI 01 templado en aceite quemado SAE 20W50 con la placa electrónica.  
 Elaborado: Jaime Toasa

<b>ENSAYO DE DUREZA</b>			
Datos Informativos			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo N.-	07
Identificación del componente de estudio	<b>Probeta N.-</b>		<b>08</b>
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	10/06/2012
Centro de Estudio y Análisis		Laboratorio de Materiales-FICM	
Realizado por:	Jaime Toasa	Supervisado por:	Ing.S. Villacís
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
Lugar:	Sector Huachi Chico /Campus Universitario-UTA		
Temperatura ambiente del lugar: 20 °C			
Otros:			
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA</b>			
Tipo de dureza utilizada:		Rockwell C (HRC)	
Tipo de penetrador:	Cono de diamante		
Carga aplicada:	1471 N	Tiempo de ensayo :20 min	
Mediciones		Dureza Rockwell C (HRC)	
1		54	
2		52	
3		53	
4		51	
<b>Promedio</b>		<b>52.5</b>	
<b>Interpretación:</b> La dureza alcanzada mediante el uso de la placa electrónica bajo considerablemente en comparación con el controlador de temperatura lo cual no se obtuvo los valores acordes con el catalogo Bohler que es de 65HRC.			

Evaluación de las probetas de Acero AISI 01 Templadas en Agua como medio de enfriamiento además utilizando el sistema de control mediante el uso de una placa electrónica.


Tabla 4.38 Especificaciones del tratamiento térmico con Agua con la placa electrónica.  
Elaborado: Jaime Toasa

<b>REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS</b>					
ENSAYO 8					
<b>Probeta N.-</b>	<b>09</b>	Autorizado por:	Ing. Villacís	Realizado por:	Jaime Toasa
Lugar de realización :Laboratorio de materiales FICM				Fecha de ejecución: 10/06/2012	
Temperatura ambiente del lugar:			20 °C	Flujo de aire :	Estático
<b>ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO</b>					
Tratamiento Térmico:	Temple	Temperatura del temple	790 °C	Tiempo de permanencia:	30 minutos
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Agua		Detalle referencial
Tiempo de permanencia medio de enfriamiento:		Hasta el enfriamiento	Densidad del Agua: 998 kg/m <sup>3</sup>		
Especificaciones material:		Acero	Viscosidad: 1.0038 cst		
Tipo o grado:	AISI 01	Volumen del medio : ¼ de Galón			
Diámetro:	¾ Pulgada	Temperatura del medio de enfriamiento:		16 °C	
Longitud:	20 mm				
Características:	Eje				



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Tabla 4.39 Microestructura del Acero AISI 01 templada en Agua con la placa electrónica.  
 Elaborado: Jaime Toasa

<b>ENSAYO METALGRÁFICO</b>			
Datos Informativos			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo N.-	08
Identificación del componente de estudio	<b>Probeta N.-</b>		<b>09</b>
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	10/06/2012
Centro de Estudio y Análisis		Laboratorio de Materiales-FICM	
Realizado por:	Jaime Toasa	Supervisado por:	Ing.S. Villacís
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO			
Lugar:	Sector Huachi Chico /Campus Universitario-UTA		
Temperatura ambiente del lugar: 20 °C			
Otros:			
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO			
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Lijas utilizadas:	Lija de agua (240,320,400,600)		
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante: 15 seg	
<b>RESULTADO:</b>			
<b>Microestructura del Acero AISI 01 templada en Agua a 100x</b>			
			
<b>Acero AISI 01 Templado 100 X 15 seg Nital 2</b>			



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Tabla 4.40 Dureza del Acero AISI 01 templado en Agua mediante el uso de la placa electrónica.  
 Elaborado: Jaime Toasa

<b>ENSAYO DE DUREZA</b>			
<b>Datos Informativos</b>			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo N.-	08
Identificación del componente de estudio	<b>Probeta N.-</b>		<b>09</b>
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	10/06/2012
Centro de Estudio y Análisis		Laboratorio de Materiales-FICM	
Realizado por:	Jaime Toasa	Supervisado por:	Ing.S. Villacís
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
Lugar:	Sector Huachi Chico /Campus Universitario-UTA		
Temperatura ambiente del lugar: 20 °C			
Otros:			
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA</b>			
Tipo de dureza utilizada:		Rockwell C (HRC)	
Tipo de penetrador:	Cono de diamante		
Carga aplicada:	1471 N	Tiempo de ensayo :20 min	
Mediciones		Dureza Rockwell C (HRC)	
1		49	
2		47	
3		48	
4		45	
<b>Promedio</b>		<b>47.25</b>	
<b>Interpretación:</b> La dureza alcanzada mediante el uso de la placa electrónica bajo considerablemente en comparación con el controlador de temperatura lo cual no se obtuvo los valores acordes con el catalogo Bohler que es de 65HRC.			

El análisis Metalográfico efectuado al acero AISI 01 realizado el tratamiento térmico (Temple) mediante la utilización del controlador de temperatura tipo E5CN OMRON en el laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica, indica en las diferentes microestructuras obtenidas por los diferentes medios de enfriamiento la transformación de la martensita con agujas pequeñas y presencia de carburos. Estas microestructuras se obtuvieron teniendo muy en cuenta el tiempo de permanencia en el horno y en la temperatura del medio de enfriamiento.

En el ensayo de dureza efectuado a las diferentes probetas tratadas térmicamente se determino que la probeta subió su grado de 190 HB en un promedio aproximado a 63 HRC, lo que indica que se ha cambiado sus propiedades mecánicas en una mejor proporción de acuerdo a lo esperado. Esta dureza obtenida de 63HRC se encuentra en el rango que nos manifiesta el catálogo de Bolher que es de 65 HRC después de realizar el tratamiento térmico que en este caso es del temple.

El análisis Metalográfico efectuado al acero AISI 01 realizado el tratamiento térmico (Temple) mediante la utilización de la placa electrónica en el laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica, indica en las diferentes microestructuras obtenidas por los diferentes medios de enfriamiento la transformación de la martensita con agujas pequeñas y presencia de carburos en menor cantidad que en el ensayo realizado anteriormente, lo que indica que posiblemente no se mantuvo una permanencia adecuada de la temperatura dentro del horno. Además el ensayo de dureza realizado en las probetas tratadas térmicamente mediante el uso de la placa electrónica se tuvo un promedio de 52 HRC lo cual no está acorde con el valor que nos el catalogo de Bohler.

Posteriormente se realizara una tabla comparativa de las durezas obtenidas mediante los dos sistemas de control para poder determinar sus ventajas.



Tabla 4.41 Dureza del Acero AISI 01 templado mediante el uso controlador de temperatura tipo E5CN OMRON.  
Elaborado: Jaime Toasa

Probeta N.-	Tratamiento	Medio de enfriamiento	Temperatura (°C)	Tiempo(min)	Dureza HRC
1	Temple	Aceite SAE 20 W 50	800	30	61.75
2	Temple	Aceite SAE 40	800	30	62.5
3	Temple	Aceite Quemado	800	30	60.25
4	Temple	Agua Normal	800	30	62

Tabla 4.42 Dureza del Acero AISI 01 templado mediante el uso de la placa electrónica.  
Elaborado: Jaime Toasa

Probeta N.-	Tratamiento	Medio de enfriamiento	Temperatura (°C)	Tiempo(min)	Dureza HRC
5	Temple	Aceite SAE 20 W 50	800	30	53.5
6	Temple	Aceite SAE 40	800	30	48.75
7	Temple	Aceite Quemado	800	30	52.5
8	Temple	Agua Normal	800	30	47.25

En la tabla 4.41 se puede observar que gracias al control mediante el controlador de temperatura tipo E5CN OMRON se pudo controlar de manera adecuada el tiempo de permanencia y con mayor la estabilidad térmica lo cual se ha mejorado las propiedades mecánicas en el temple llegando a situarse dentro de los parámetros que presentan varios autores que indican que en este tratamiento se obtienen durezas entre los 62 y los 65 Rockwell C para aceros con este porcentaje de carbono; esto también se da gracias a la mejor formación de su microestructura.

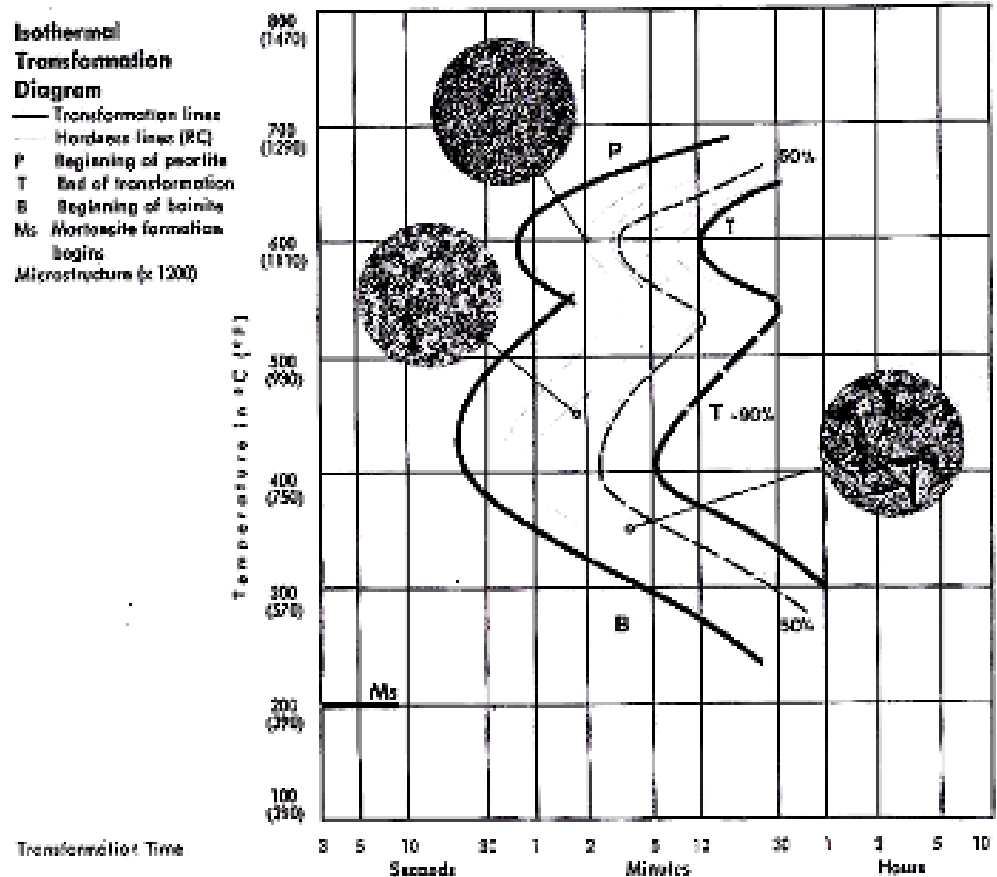


Figura 4.1 Diagrama de transformación del acero AISI 01  
 Fuente: BOEHLER BROS. & CO. LTD. Manufacturers of High Grade Steels.  
 BOEHLER Dimensionally Stable Steels. Año 2007.

En la figura 4.1 se observa la transformación de la microestructura del acero AISI 01 es decir la microestructura martensítica obtenida durante el tratamiento térmico lo que concuerdan con las microestructuras conseguidas al momento de realizar este proceso con la utilización del controlador de temperatura OMRON.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

Mediante el análisis e interpretación de los datos recolectados, principalmente de las pruebas realizadas, así como la fundamentación teórica, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Comparando con los dos sistemas de control de temperatura se verifico que el sistema que más exacto mantiene la temperatura en el interior del horno fue mediante el uso del controlador de temperatura tipo E5CN OMRON disponible en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.
- Al utilizar el sistema de control con el controlador de temperatura tipo E5CN OMRON y el temporizador Tipo H3BA OMRON se logró controlar de manera adecuada la temperatura y tiempo al momento de realizar el temple en el Acero AISI 01 , obteniendo las microestructuras y la durezas acorde con los valores que nos presentan ciertos catálogos y diferentes autores .
- Se determino los parámetros necesarios para la construcción del horno eléctrico tipo mufla con su respectivo control automático.
- El valor de la dureza del Acero AISI 01 aumento de 190HB a 61 HRC al momento de realizar el temple en Aceite, que comparando con el catalogo de

Bohler nos da un valor aproximado de la dureza (65HRC) después de realizar este tipo de tratamiento térmico.

- La microestructura del Acero AISI O1 como viene de fabrica consiste en una dispersión de partículas esferoidales de carbono en una matriz de cementita que luego de realizar el temple en aceite se obtuvo una microestructura con un alto porcentaje de martensita en forma de agujas pequeñas además presencia de carburos microestructura característica al realizar este tratamiento térmico.
- El temple en el Acero AISI O1 debe realizarse a una temperatura de 800 °C esto según el porcentaje de carbono del acero.

## 5.2 RECOMENDACIONES

Con la finalización de las pruebas realizadas en el presente proyecto se ha estimado establecer las siguientes recomendaciones:

- Ya que el sistema de control se lo realizó mediante el uso del controlador de temperatura tipo E5CN OMRON y el temporizador Tipo H3BA OMRON son dispositivos electrónicos se recomienda tener cuidado de no colocar objetos extraños o derramar líquidos, si lo hiciese podrían producirse descargas eléctricas, incendios, o mal funcionamiento.
- Para realizar el mantenimiento de los dispositivos electrónicos se recomienda desconectar todas las fuentes de alimentación para evitar posibles choques eléctricos y el posterior daño de sus componentes.
- Al momento de realizar un tratamiento térmico no abrir la puerta del horno debido a que puede sufrir quemaduras.
- No sobrepasar los rangos de temperatura del horno eléctrico (0-1000 °C).
- Comprobar que el material de estudio sea el correcto, comparando la microestructura con la de la bibliografía.
- Se debe preparar correctamente la superficie de las probetas para los ensayos de dureza y metalográficos.
- Para el ataque químico en las probetas se debe utilizar el reactivo Nital 2.
- No se debe utilizar el secador para el secado de las probetas pues la corriente de aire hace que esta, se oxide inmediatamente.
- Secar las probetas al ambiente.
- Tener cuidado en utilizar el microscopio manual, al momento de medir la huella marcada por el durómetro, pues la lectura de esta debe ser lo más exacta posible.

## **CAPITULO VI**

### **PROPUESTA**

#### **6.1 DATOS INFORMATIVOS**

Los datos básicos que permiten el funcionamiento adecuado de la automatización del horno eléctrico para realizar tratamientos térmicos en el acero son los que se presentan a continuación:

- El horno eléctrico puede realizar únicamente tratamientos térmicos en el Acero.
- El horno opera con un voltaje de 220 V, su consumo nominal es de 20 A con una potencia de 4625.1W de acuerdo con los cálculos realizados.
- El horno eléctrico se lo podrá manipular mediante el control de temperatura OMRON tipo E5CN OMRON y el temporizador tipo H3BA OMRON disponibles en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.
- El sensor de temperatura será una termocupla tipo K.
- El rango de temperaturas que trabaja el horno eléctrico será de 0°C a 1000°C.
- El horno eléctrico va a ser implementado en el Laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

#### **6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA**

El adelanto y desarrollo de la Universidad en la provincia y a nivel nacional, es notorio que al igual que otros países contar con equipos modernos, la mayoría de las universidades locales se plantean como estrategia competitiva mejorar el nivel académico y el proceso de enseñanza, mediante la incorporación de nuevos y modernos equipos para sus laboratorios.

Mediante investigaciones realizadas con anterioridad acerca de la automatización de un horno eléctrico tipo mufla , con la utilización del controlador de temperatura y el temporizador OMRON disponibles en el Laboratorio de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica lo cual se realizo pruebas dando un buen resultado lo que se determino que se puede controlar temperaturas y tiempos al momento de realizar un tratamiento térmico en el Acero una vez logrado esto, se presento el tema para su realización.

### **6.3 JUSTIFICACION**

El presente proyecto se lo desarrolla con la finalidad de que se realicen prácticas en el área de materiales con la utilización de dispositivos existentes en el laboratorio de automatización, lo cual permita que los estudiantes amplíen sus conocimientos al momento de utilizar un sistema automatizado de temperatura, creando un criterio propio sobre los sistemas automatizados que se pueden realizar para controlar cualquier tipo de máquina mediante la utilización de dispositivos electrónicos existentes en el mercado nacional.

La implementación del horno eléctrico automatizado permitirá beneficiar a futuras promociones de la Facultad y además logrará incentivar a que se realicen investigaciones que permitan realizar proyectos a nivel industrial.

### **6.4 OBJETIVOS**

#### **6.4.1 OBJETIVO GENERAL:**

- Implementar un horno eléctrico automatizado para realizar tratamientos térmicos en el Acero, en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad técnica de Ambato.

#### **6.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Seleccionar los materiales adecuados y existentes en el mercado.
- Construir el horno eléctrico.
- Verificar el correcto funcionamiento del horno eléctrico.

#### **6.5 ANALISIS DE FACTIBILIDAD**

##### **6.5.1 Análisis Técnico**

La construcción del horno eléctrico automatizado es realizable hacerlo, tomando en cuenta varios factores que ayudaron a profundizar sobre este tema.

Primeramente la determinación del funcionamiento básico de un horno eléctrico, conociendo las partes que lo conforman en el interior del mismo, buscar la manera de acoplar dispositivos de medición (sensores) , controladores de temperatura y mediante ciertos dispositivos electrónicos los mismos que permitan visualizar la temperatura, que se encuentra en el interior del horno además poder controlar tiempos y temperaturas para realizar los diferentes tratamientos térmicos en el Acero .

##### **6.5.2 Análisis de Costos**

A continuación se presentan los costos de materiales que se invirtieron para la construcción del horno eléctrico automatizado.



**Tabla 6.1. Materiales para la base de la cámara de calentamiento.**

<b>MATERIALES PARA LA BASE DE LA CÁMARA DE CALENTAMIENTO</b>			
<b>ÍTEM</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COSTO</b>
1	1	Plancha de Tol de 2mm	45
2	1	Plancha de Tol de 1.5mm	34.50
3	1	Tubo cuadrado de 1 <sup>1/2</sup> ” x 2mm.	7
4	1	Disco de corte de Metal	1.60
5	2 lt	Pintura, Uniprimer, Diluyente	12
6	15	Pernos M6 X15	2
7	15	Tuercas M6	0.60
8	15	Arandelas planas ¼”	0.50
9	2 lb	Electrodos 6011	3
10	2	Hojas de sierra grano fino	2.40
<b>TOTAL</b>			108.60
<b>10% Imprevistos</b>			10.86
<b>COSTO TOTAL</b>			119.46

**Tabla 6.2. Materiales para la cámara de calentamiento.**

<b>MATERIALES PARA LA CÁMARA DE CALENTAMIENTO</b>			
<b>ÍTEM</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COSTO</b>
1	51	Ladrillos refractarios U33 recto(9”x4 <sup>1/2</sup> ”x2 <sup>1/2</sup> ”)	350
2	35 kg	Mortero Refractario Súper Aerofrax	70
3	1 Rollo	Manta Fibra Cerámica 7020 x 610 mm x1”	60
4	1	Disco Diamantado 7”	18
<b>TOTAL</b>			498
<b>10% Imprevistos</b>			49.8
<b>COSTO TOTAL</b>			547.80

**Tabla 6.3. Materiales para el sistema de calentamiento.**

<b>MATERIALES PARA EL SISTEMA DE CALENTAMIENTO</b>			
<b>ÍTEM</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COSTO</b>
1	1	Controlador de temperatura Tipo E5CN OMRON	150
2	1	Temporizador Tipo H3BA OMRON	80
3	1	Contactador tipo J7K-BM-10 OMRON	50
4	1	Termocupla Tipo K 12" Rígida	20
5	60 m	Alambre 18 SWG, Ohm/m 0.97	72
6	10	Cable de Alta temperatura 16 AWG 250 °C	25
<b>TOTAL</b>			397
<b>10% Imprevistos</b>			39.7
<b>COSTO TOTAL</b>			436.7

**Tabla 6.4. Materiales electrónicos.**

<b>MATERIALES ELECTRÓNICOS</b>			
<b>ÍTEM</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COSTO</b>
1	1	AD595	27
2	1	Transformador	14
3	1	Baquelita	4
4	3	Borneras	1.8
5	1	Caja	5
6	2	Capacitor 100uf	0.7
7	1	Capacitor 2200uf	1.5
8	7	Capacitor de 10uf	2.45
9	3	Capacitores 100nf	0.9

10	3	Diodo led	1.5
11	1	Diodo zener 5,1v	0.5
12	2	Diodos 1n4148	0.5
13	1	Hoja de transferencia	2.5
14	1	Pic 16f819	7
15	2	Potenciómetros	1
16	1	Puente de diodos 3 <sup>a</sup>	2.5
17	1	Regulador 7805	1.5
18	1	Regulador 7812	1.5
19	2	Relé liming	5
20	14	Resistencias	2.1
21	2	Transistores 2n2222	0.6
22	2	Zócalos	0.8
		<b>TOTAL</b>	84.35
		<b>10% Imprevistos</b>	8.42
		<b>COSTO TOTAL</b>	92.78

Elaborado: Jaime Toasa

**Tabla 6.5. Costo del Horno Automatizado.**

<b>HORNO AUTOMATIZADO</b>		
<b>ÍTEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COSTO</b>
1	Materiales Para La Base De La Cámara De Calentamiento	119.46
2	Materiales para la cámara de Calentamiento	547.80
3	Materiales para el sistema de calentamiento	436.7
4	Materiales Electrónicos	92.78
5	Mano de Obra	500
		<b>TOTAL</b>
		1696.73

Elaborado: Jaime Toasa

## **6.6 FUNDAMENTACION**

La presente propuesta se basa en la información recabada y presentada en el CAPITULO II que corresponde al marco teórico, donde se presentan todos los factores y características básicas de todas las partes principales que incluyen en el proyecto.

De tal forma que la propuesta se ha logrado realizar de acuerdo a los siguientes puntos:

### **6.6.1.-Selección del sistema de calentamiento**

Para poder seleccionar el sistema más adecuado se tomaron en cuenta ciertos parámetros como son:

- Temperatura (Mínima y Máxima).
- Características del material a calentar.
- Ventajas Técnicas y Económicas.

Analizando todos estos parámetros se seleccionó un sistema eléctrico Tipo Mufla, debido a que presenta las siguientes ventajas:

- Control simple y preciso de la temperatura, mediante elementos de regulación de costo bajo.
- Ambiente limpio para el proceso, pues no existe contacto entre los materiales de las probetas a ensayar con ningún tipo de combustible.
- Temperatura aproximadamente constante y uniforme al interior del Horno.
- Mínima Influencia de la temperatura Ambiente sobre el interior del horno.
- Facilidad para construcción y mantenimiento, debido a la forma de la cámara.
- Las temperaturas que se alcanzan no tienen otro límite superior que el limitado por las propiedades térmicas del material de las resistencias.

- Permite conocer de forma aproximada sobre el consumo útil de energía del horno.

### 6.6.2.- Tiempos recomendados y temperaturas de funcionamiento

El horno eléctrico tipo mufla se diseñó exclusivamente para realizar tratamientos térmicos en los siguientes aceros, bajo los parámetros mostrados a continuación.

Tabla 6.6: Temperaturas y tiempos para realizar tratamientos térmicos de diferentes tipos de aceros.

Tipo de Acero	Tipo de Tratamiento Térmico	Temperatura (°C)	Tiempo (Horas)
SAE 1018	Recocido de Regeneración	27°C+A3	12 a 24
SAE 1040	Recocido de Globulización	700 a 750	12 a 24
DF-2 Similar a AISI 01	Normalizado	55°C+(Acm ó A3)	1h por cada pulgada de Espesor o Diámetro
705 Similar a AISI 4337	Temple	27°C+(A3 o A3)	1h por cada pulgada de Espesor o Diámetro

Elaborado: Jaime Toasa

De la tabla anterior se concluyó que este horno trabajará hasta una temperatura máxima de 1100 °C y durante un tiempo máximo de funcionamiento de 12 horas.

### 6.6.3.- Selección de materiales para la construcción del horno

#### a) Materiales Aislantes

Se escogió manta fibra cerámica (1 pulg) disponible en el mercado en rollos, con las siguientes características:

- Temperatura máxima de trabajo entre 1100 °C
- Resistencia a la humedad alta.
- No se inflama y es además un excelente aislante térmico.
- Se comporta bien tanto en atmósferas reductoras como oxidantes. Si resultara mojada por aceites, agua o vapor, sus propiedades térmicas y físicas se restablecen en su totalidad al secarse.
- Resistente a la corrosión, a los ácidos y a los aceites.
- El punto de fusión es a los 1760° C, el color es blanco.

#### b) Resistencias eléctricas

Considerando que las resistencias eléctricas están directamente relacionadas con la máxima temperatura que trabajan los hornos, se seleccionaron aquellas que cumplen con las características planteadas en el diseño y además existen en el mercado nacional; Para nuestro caso la temperatura máxima que va a trabajar nuestro horno es de 1100 °C por lo que se requirieron resistencias de aleación compuesta de 80% Ni-20%Cr, con las siguientes propiedades:

Tabla 6.7: Características de las resistencias eléctricas 80% Ni-20%Cr  
Elaborado: Jaime Toasa

Temperatura máxima de trabajo	1100°C
Temperatura de Fusión	1400°C
Potencia Especifica a 1000 °C	2W/cm <sup>2</sup>
Resistencia a 20 °C	1.1 Ohmios mm <sup>2</sup> /m
Coefficiente de resistividad a 1200 °C (ct)	1.045

Resistividad	$1.77 \times 10^{-6} \Omega \text{ m}$
Coefficiente de temperatura	0.00013
Densidad Especifica	8.412

**c) Soporte de Ladrillos refractarios.**

Como la base del horno va ha soportar todo el peso de los ladrillos y los diferentes compones se realizo el análisis de la estructura del horno determinando utilizar una plancha de tol negro de 2mm de espesor.

**d) Cubierta Exterior (Selección de Chapa metálica).**

Como la parte externa del horno eléctrico no está sujeto a cumplir condiciones tales como esfuerzos ni tensiones externas por lo tanto la cubierta exterior del horno se selecciona a una **plancha de tol negro de 1,5 mm de espesor.**

**e) Ladrillos Refractarios.**

Los ladrillos que utilizaremos son los **ladrillos U-33 (9x41/2x21/2 pulgadas)** esto fue escogido de acuerdo con la temperatura 1100 °C y algunas condiciones de trabajo (Ver tabla No 2.2)

**f) Mortero Refractario**

El mortero refractario que se selecciono fue Súper Aerofrax (Ver tabla No 2.4) el mismo que es utilizado para mamposterías de ladrillos U-33 y es fácil de conseguir en el mercado nacional.

**g) Electroodos.**

El electrodo que se selecciono fue AGA 6011 el mismo que cumple con las características del metal base es decir es apto para soldar tol negro de 2 mm

(Acero de bajo porcentaje de carbono), además que se trabajara en una unión en el cual un lado no esté biselado proporcionara una buena penetración, también adopta diferentes posiciones a soldar (Anexo21).

#### 6.6.4 CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL HORNO ELÉCTRICO

Una vez seleccionado las partes básicas del horno eléctrico se procede a su construcción:

##### 6.6.4.1 Estructura del horno eléctrico

Para la construcción de la base principal se necesita los siguientes materiales:

Tabla 6.8 Materiales para la base principal

Material	Dimensiones	Cantidad
Tol de 2 mm	488 x 537 mm	1
	533 x 244 mm	2
	550 x 522 mm	1

Elaborado: Jaime Toasa

Para la construcción de la base se realiza los siguientes pasos:

1. Con la plancha de tol de 2mm procedemos el respectivo rayado.
2. Seguidamente realizamos el corte de 488 x 537 mm como también realizamos cortes en sus extremos con una dimensión de 24 x 24 mm para su respectivo doblado.
3. Realizamos dobleces a 90° hacia dentro en los cuatro lados.



Figura 6.1 Base del horno eléctrico

Elaborado: Jaime Toasa



Para la construcción de las dos bases laterales realizamos los siguientes pasos:

1. Realizamos el respectivo rayado con una dimensión de 533 x 244 mm.
2. Procedemos a realizar el corte con la ayuda de una amoladora la misma que esta acoplada un disco de corte para metal.
3. Seguidamente procedemos a realizar el doblado a 90 ° hacia arriba en los tres lados.
4. Posteriormente se realiza seis perforaciones con la ayuda de una broca de 5 mm.
5. Por último procedemos a realizar tres aberturas con una dimensión de 80x10mm.



Figura 6.2 Base lateral  
Elaborado: Jaime Toasa

Para la construcción del soporte de los ladrillos refractarios realizamos los siguientes pasos:

1. Con el pedazo de tol de 550 x 522 mm se procede a realizar cuatro cortes en sus extremos con una dimensión de 32 x 32 mm.
2. Luego de realizado el corte se procede a doblar a 90 ° los cuatro extremos.
3. Finalmente se procede a realizar diez perforaciones con una broca de 5 mm.



Figura 6.3 Soporte de ladrillos refractarios  
Elaborado: Jaime Toasa

Una vez realizado la base, base lateral y el soporte de los ladrillos refractarios procedemos a realizar el respectivo ensamblaje de la siguiente manera:

1. Alineamos correctamente las piezas a fin de ensamblarlas mediante la utilización de playos de aleta.
2. Soldamos en los extremos con la ayuda de un electrodo AGA 6011 la base principal con la base lateral.
3. Finalmente soldamos el soporte de los ladrillos refractarios.



Figura 6.7 Estructura principal del horno eléctrico

Elaborado: Jaime Toasa

#### 6.6.4.2 Construcción de la cámara de calentamiento

A continuación se presenta brevemente una descripción de cómo está conformada la cámara de calentamiento. Hay que mencionar que el material que se utilizó en la construcción es Ladrillo refractario U33 y mortero refractario Súper Aerofrax. Para la construcción de la cámara de calentamiento se le ha dividido en cuatro partes, pared inferior, superior, laterales y posterior.

Tabla 6.9 Materiales para la cámara de calentamiento.

Material	Dimensiones	Cantidad
Ladrillo Refractario U33	9x41/2x21/2 pulgadas	51 ladrillos
Mortero refractario		25 kg

Elaborado: Jaime Toasa

Para la construcción de la pared inferior se realizó los siguientes pasos:

1. Ubicamos correctamente seis ladrillos refractarios en el soporte de los mismos, cabe mencionar que las juntas horizontales y verticales entre los ladrillos deben ser mínimas y en ningún caso exceder de 2 mm.
2. En un recipiente limpio se vierte el mortero refractario que viene liso para ser utilizado.
3. Con la ayuda de un palustre colocamos la cantidad necesaria de mortero para cada junta entre ladrillos.
4. Para la siguiente capa de ladrillos necesitamos realizar varias aberturas para que se alinie correctamente la pared lateral.
5. Necesitamos realizar aberturas con una dimensión de 65 x 114 mm con una profundidad de 9mm de dos ladrillos esto lo hicimos con la ayuda de una amoladora equipada con un Disco Diamantado 7".
6. También necesitamos de dos ladrillos con aberturas de 34 x 228 mm con una profundidad de 9 mm y por último dos ladrillos con aberturas de 29 x 114 mm con una profundidad de 9 mm en sus dos extremos.
7. Finalmente ubicamos los ladrillos de la manera adecuada, y con la ayuda de un palustre vertimos la cantidad necesaria de mortero refractario.



Figura 6.8 Pared inferior cámara de calentamiento

Elaborado: Jaime Toasa

Para la construcción de las paredes laterales realizamos los siguientes pasos:

1. Primeramente necesitamos realizar cinco canales en cuatro ladrillos con una dimensión de 7 x 114 mm con una profundidad de 10 mm con el fin de ahí ubicar las resistencias eléctricas.
2. Alineamos correctamente los ladrillos y con la ayuda de un palustre vertimos la cantidad necesaria de mortero entre las juntas de los ladrillos.



Figura 6.9 Paredes Laterales de la cámara de calentamiento  
Elaborado: Jaime Toasa

Para la construcción de la pared superior realizamos los siguientes pasos:

1. Necesitamos realizar aberturas de 34 x 228 mm con una profundidad de 9 mm en dos ladrillos y por último dos ladrillos con aberturas de 29 x 114 mm con una profundidad de 9 mm en sus ambos extremos.
2. Ubicamos correctamente los ladrillos y con la ayuda de un palustre vertimos la cantidad necesaria de mortero entre las juntas de los ladrillos.
3. Para la siguiente capa necesitamos seis ladrillos los mismos que alineamos correctamente.
4. Por último vertimos la cantidad suficiente de mortero entre las juntas de los ladrillos.



Figura 6.10 Pared Superior cámara de calentamiento  
Elaborado: Jaime Toasa

Para la construcción de la pared posterior realizamos los siguientes pasos:

1. Ubicamos correctamente dos ladrillos luego vertimos el mortero refractario esperamos unos diez minutos para luego seguir pegando los siguientes ladrillos.
2. Una vez pasado este tiempo procedemos a ubicar otros dos ladrillos luego vertimos el mortero, esto lo realizamos hasta completar la pared posterior.
3. Terminado la pared posterior procedemos a realizar un canal con un dimensión de 29 x 340 mm con una profundidad de 13 mm y una perforación al final del canal de 10 mm esto lo realizamos para poder ubicar la termocupla tipo K.
4. Por último realizamos una perforación de 10 mm para la evacuación de gases.



Figura 6.11 Pared Posterior de la cámara de calentamiento

Elaborado: Jaime Toasa

#### 6.6.4.3 Construcción de la cubierta de ladrillos refractarios

Para la construcción de la cubierta utilizamos tol negro de 2 mm de espesor ya que es fácil de trabajar y fácil de soldar.

Para la construcción de la cubierta se necesita cortar la plancha de tol con las siguientes dimensiones:

Tabla 6.10 Materiales para la cubierta de ladrillos refractarios.

<b>Material</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Cantidad</b>
Tol de 2 mm	1399 x 458 mm	1

Elaborado: Jaime Toasa

La construcción de la cubierta de los ladrillos refractarios lo realizamos mediante los pasos.

1. Con el corte del tol de 1399 x 458 mm procedemos a realizar dobleces a 90° a 445 mm a lo largo de los extremos más largos.
2. Seguidamente procedemos a realizar dobleces a 90° a 470 mm en cada uno de los extremos más cortos.
3. Finalmente ensamblamos en la cámara de calentamiento soldando en los extremos de la base principal.



Figura 6.12 Cubierta de ladrillos refractarios

Elaborado: Jaime Toasa

#### 6.6.4.4 Construcción de la carcasa del horno

Para la construcción de la carcasa del horno utilizamos tol negro 1,5 mm, esto debido a las características anteriormente mencionadas, lo realizamos mediante los siguientes pasos:

Tabla 6.11 Materiales para la carcasa del horno.

<b>Material</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Cantidad</b>
Tol de 1.5mm	1611 x 1513 mm	1

Elaborado: Jaime Toasa

1. Con la plancha de 1611 x 1513 mm procedemos a realizar dobleces a 90° a 487 mm a lo largo de los extremos más largos en ambos lados.
2. Procedemos a realizar dobleces a 90° a 547 mm en cada uno de los extremos más cortos.
3. Seguidamente procedemos a realizar 30 perforaciones con una broca de 3 mm alrededor de los dobleces realizados.
4. Finalmente cubrimos con el aislante (Manta cerámica) todas las paredes de ladrillos refractarios y soldamos en los cuatro extremos la carcasa con la base principal.



Figura 6.13 Carcasa del horno eléctrico.

Elaborado: Jaime Toasa

#### 6.6.4.5 Construcción de la puerta del horno

Para la construcción de la puerta del horno utilizamos tol negro 1,5 mm y cuatro ladrillos refractarios, lo realizamos mediante los siguientes pasos:

Tabla 6.12 Materiales para la carcasa del horno.

Material	Dimensiones	Cantidad
Ladrillo Refractario U33	9x41/2x21/2 pulgadas	4 ladrillos
Mortero refractario		1 kg
Tol negro 1.5mm	405x470 mm	1

Elaborado: Jaime Toasa

1. Con el corte del tol de 405 x 470 mm procedemos a realizar dobleces a 90° a 85 mm en los cuatro extremos.
2. Procedemos a soldar en las cuatro esquinas, para obtener el soporte de la puerta del horno.
3. Seguidamente ubicamos los cuatro ladrillos dentro del soporte de la puerta.
4. Finalmente ubicamos la puerta en la posición correcta y procedemos a soldar.



Figura 6.14 Puerta del horno eléctrico.

Elaborado: Jaime Toasa

## **6.6.5 SISTEMAS DE CONTROL**

Un sistema automático de control es un conjunto de componentes físicos conectados o relacionados entre sí, de manera que regulen o dirijan su actuación por sí mismos, es decir sin intervención de factor humano, corrigiendo además los posibles errores que se presenten en su funcionamiento.

Entre los sistemas de control tenemos los de lazo abierto y lazo cerrado en el caso del presente proyecto se enfoca el de lazo cerrado

### **6.6.5.1 Sistemas de control en lazo cerrado.**

El sistema de control que se emplea en un horno es un sistema de control de lazo cerrado, ya que en él las señales de salida y de entrada están relacionadas mediante un bucle de realimentación, a través del cual la señal de salida influye sobre la de entrada. De esta forma, la señal de salida tiene efecto sobre la acción de control.



Por tanto, los sistemas de control en lazo cerrado son capaces de controlar en cada momento lo que ocurre a la salida del sistema, y modificarlo si es necesario. De esta manera, el sistema es capaz de funcionar por sí solo de forma automática y cíclica, sin necesidad de intervención humana.

El esquema que se maneja con el sistema térmico para realizar tratamientos térmicos se puede representar mediante el siguiente esquema:

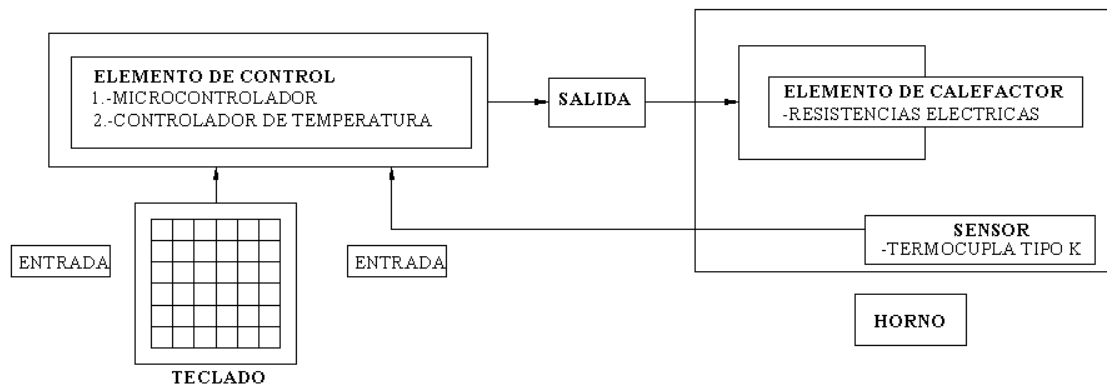


Figura. 6.15 Sistema de control utilizado en el equipo.

Fuente: Jaime Toasa

### 6.6.5.2 Elemento de control

Los elementos de control se les consideran al microcontrolador PIC 16f819 y el controlador de temperatura Tipo E5CN OMRON que son los elementos encargados de mantener la temperatura dentro del horno necesario para realizar un tratamiento térmico en el acero.

### 6.6.5.3 Sensor

Es capaz de detectar los cambios que se producen en la salida y llevar esa información al dispositivo de control, que podrá actuar en consonancia con la información recibida para conseguir la señal de salida deseada, este elemento de calentamiento se encuentra dispuesto de una termocupla tipo K, que soporta temperaturas superiores a los 1100 °C y a su vez que es compatible con el

adaptador de termocupla AD595, que fácilmente se puede conseguir en el mercado.

#### **6.6.5.4 Elemento de calentamiento**

El elemento de calentamiento en el horno funciona mediante un par de resistencias eléctricas de 2300 Watts conectadas en paralelo a fin de conseguir una potencia de 4600 Watts que es la potencia óptima calculada para que el horno funcione correctamente en las temperaturas requeridas para realizar un tratamiento térmico en el Acero.

#### **6.6.6 UBICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS PARA EL CONTROL AUTOMÁTICO.**

- a) Mediante dispositivos existentes en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.
  1. Primeramente ubicamos correctamente todos los dispositivos de control que anteriormente fueron seleccionados en el panel frontal del horno.
  2. Seguidamente se procede a realizar las respectivas conexiones mediante la ayuda del diagrama de control (Ver en el anexo 16).
  3. Finalmente se realiza pruebas de funcionamiento.



Figura 6.16 Ubicación de dispositivos electrónicos del horno eléctrico.

Elaborado: Jaime Toasa

- b) Control del horno mediante dispositivos electrónicos existentes en el mercado nacional.

Para el control de dispositivos electrónicos es necesaria la construcción de una placa electrónica lo cual lo realizamos de la siguiente manera:

Una vez que se ha analizado el diagrama esquemático, se procede a realizar un listado de todos los componentes electrónicos que conforman (Anexo 17) y posteriormente elaborar la placa electrónica.

A continuación se presentan los pasos básicos para la implementación de la placa electrónica:

1. Con todos los componentes listos el siguiente paso es diseñar la placa del circuito impreso en un software que simula todos los componentes con sus respectivas conexiones, para ordenarlos el lugar en los que deben ir colocados reduciendo el espacio en la placa.
2. Luego que está listo el diseño se procede a imprimirlo en impresora a laser ya que este tipo de impresión es de alta calidad y el diseño queda impreso como una película sobre la hoja.

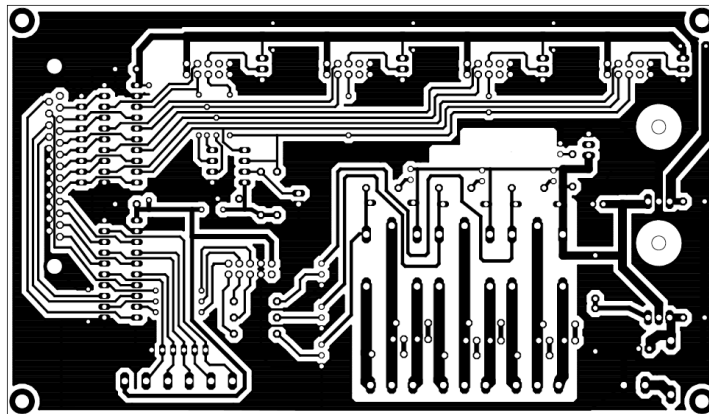


Figura 6.17 Diseño del circuito impreso

Elaborado: Jaime Toasa

3. Una vez listo el circuito impreso, se procede a colocarlo en la placa sobre la lámina de cobre y por medio de calentamiento se desprende la tinta, quedando impregnado el dibujo del diseño del circuito en la misma.
4. Mediante un proceso químico con agua y perclorato de hierro se elimina el cobre que no ha sido tapado por la tinta, posteriormente se elimina la tinta para que las pistas de cobre que conectan a los componentes queden bien definidas.
5. Luego se realizan las perforaciones necesarias con las brocas adecuadas al tamaño de los huecos que se encuentran en las pistas para que los componentes puedan colocarse en la placa.
6. Posteriormente cada uno de los componentes se ubica en su respectivo lugar para luego soldarlos con cautín.
7. Finalmente se realizan las pruebas de funcionamiento y comprobación de voltajes.

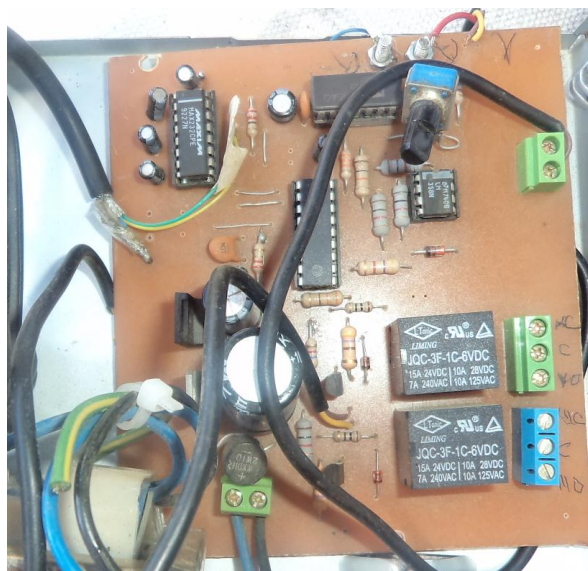


Figura 6.18 Esquema del circuito

Elaborado: Jaime Toasa

El funcionamiento básico de los principales circuitos integrados que conforman la placa electrónica es el siguiente:

1. A través de la bornera 1 se introduce el voltaje de alimentación en este caso son 12 voltios en alterna luego pasa por el puente rectificador esto hace que el voltaje se transforme en voltaje continuo.
2. Seguidamente es filtrado por los condensadores de 2200uf para eliminar el ripple y los ruidos, también es filtrado por el condensador de 100nf tipo disco, este voltaje se utiliza para alimentar los relés.
3. Luego este voltaje es regulado por el regulador de 12 voltios 7812 a su vez es filtrado por el condensador de 100uf y los condensadores de 10uf que están a un costado AD 595. Este voltaje es utilizado para que funcione el adaptador de termocupla AD 595 y el amplificador operacional LM 358.
4. El voltaje de 12 voltios que se ha obtenido a su vez es regulado a 5 voltios y a su vez es filtrado por los condensadores de 100uf y 100nf con el fin de eliminar los ruidos eléctricos. Este voltaje es utilizado para alimentar el microcontrolador PIC 16f819 y el MAX 232.
5. Seguidamente el adaptador de termocupla AD 595 recibe la señal de la termocupla a través de la bornera 3, luego pasan por sus pines 1 y 14, su pin número 12 da una señal de desconexión de la termocupla, en este caso luminosa a través de la resistencia y el led verde.
6. Su salida es por la pata 8 y 9, luego esta señal pasa por un divisor de tensión conformado por la resistencia de 33k , una resistencia de 10k y un potenciómetro de ajuste de 1k, este voltaje dividido entra a la entrada no inversora del LM 358 que nos sirve para adaptar la tensión a niveles en que el convertidor analógico digital del PIC opera. Las resistencias de 1k conectadas a los pines 1 a 2 y 2 a tierra se utilizan para darle al operacional la característica de amplificador de tensión, en el pin 1 del operacional que es su salida tenemos otra resistencia que va al diodo zener de 5.1 voltios, este zener se lo utiliza para limitar la tensión de la entrada del convertidor AD del PIC si no se utilizara, al sobrepasar los 5 voltios de operación el mismo puede sufrir serios daños.

7. El PIC 16f819 es el que procesa los datos del convertidor y los envía a través de una interfaz serial por el integrado MAX 232 este integrado MAX 232 tiene asociados condensadores de 10uf que sirven para aumentar la tensión de transmisión de datos a su vez este integrado reduce a niveles TTL los datos que recibe y los manda al microcontrolador.
8. Seguidamente el PIC manda los datos seriales a través del puerto RA2 que corresponde al pin 2 y recibe los datos por el puerto RA3 que corresponde al pin 3. Al pin 10 que corresponde al puerto RB4 se ha conectado una resistencia de pullup de 4k y un switch para hacer el cambio sistema automático.
9. El pin 6 que corresponde al puerto RB0 es utilizado para comandar al elemento calefactor a través del relé que es accionado por el transistor 2N2222 que recibe su señal de activación de la resistencia de 1k vemos que esta el diodo 1n4148 que nos sirve para eliminar la fuerza contraelectromotriz que se produce al activarse el relé en este caso el relé que se encontró es de 6 voltios es por eso que se ha agregado una resistencia de 10 ohmios.

## 6.6.7 ANÁLISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

### Dimensiones interiores de la Cámara.

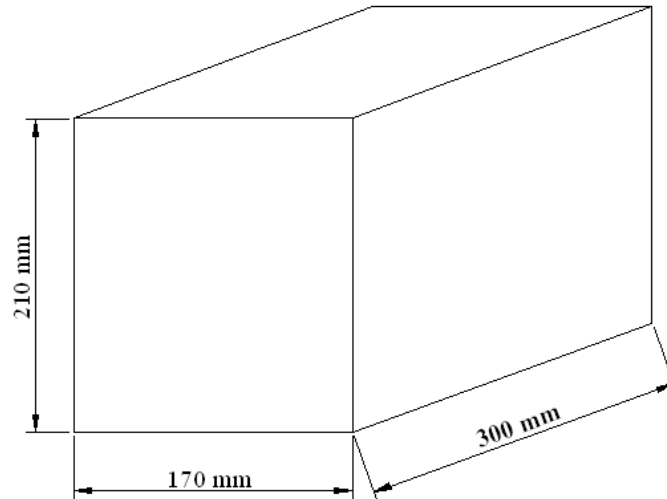


Figura 6.19 Dimensiones cámara de calentamiento

Elaborado: Jaime Toasa

a = Ancho = 170 mm

b = Altura = 210 mm

c = Profundidad = 300 mm

Calculo del volumen interior de la cámara de calentamiento.

V = Volumen interior de la cámara.

$$V = a*b*c$$

(6.1)

$$V = 170\text{mm}*210\text{mm}*300\text{mm}$$

$$V = 1070000\text{mm}^3 = 0.0107 \text{ m}^3$$

### Cantidad de Calor a Impartir a la carga.

La cantidad de calor que absorbe la carga se la puede separar en algunas partes es decir: la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura del aire y la cantidad de calor que absorbe el material a realizar el tratamiento térmico.

$$Q_c = Q_A + Q_M \quad (6.2)$$

Donde:

$Q_A$  = Calor debido al calentamiento del aire.

$Q_m$  = Calor debido al calentamiento del material a realizar el tratamiento térmico.

### **Calor que absorbe el aire.**

Para el cálculo de dicho calor nos valemos de una ecuación que es muy conocida en el campo de la ingeniería:

$$Q_A = m * C_p * \Delta T \quad (6.3)$$

Donde:

$m$  = Masa [Kg]

$C_p$  = Calor específico [KJ/Kg°C]

$\Delta T$  = Diferencia de temperaturas.

Primeramente se calcula la masa, ya que tengo el volumen y la densidad del aire de la siguiente manera:

$$m_A = \rho * V \quad (6.4)$$

$\rho_A$  = Densidad promedio del aire = 0.8711 Kg/m<sup>3</sup> (Anexo10)

$V_A = 0.34m * 0.17m * 0.21m = 0.0121 m^3$

$$m_A = 0.8711 \frac{Kg}{m^3} * 0.0121m^3 = 0.0105 Kg$$

$$Q_A = m_A * C_{pA} * (T_f - T_i) \quad (4.5)$$

$C_{pA}$  = Calor específico promedio del aire = 1.014 KJ/Kg°C (Anexo10)

Por lo tanto se tiene:

$$Q_A = 0.0105kg * 1.014 \frac{KJ}{Kg^\circ C} * (790^\circ C - 15^\circ C)$$

$$Q_A = 8.25 kJ$$



**Calor debido al calentamiento del material a realizar el tratamiento térmico**

$$Q_M = m * C_p * \Delta T \tag{6.5}$$

$$M = 15 \text{ kg (Acero DF2)}$$

$$C_p = \text{Calor específico del Acero DF2} = 0.460 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C} \quad (\text{Anexo 6})$$

$$Q_M = 20 \text{ kg} * 0.460 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * (1100^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C})$$

$$Q_M = 9982 \text{ KJ}$$

$$Q_c = 8.25 \text{ kJ} + 9982 \text{ KJ}$$

$$Q_c = 9990.25 \text{ KJ} = 2775.06 \text{ W-h}$$

**Modelo Matemático de transferencia de calor.**

Se considera estructuras compuestas en las cuales el flujo de calor es unidimensional, por lo menos aproximadamente. Para hacer que el tratamiento resulte aplicable a casos prácticos cuyas temperaturas de superficie por lo general se desconocen. Se incluirá en el tratamiento del flujo de calor a través de las resistencias térmicas. Se supondrá que el sistema está expuesto por un lado a un medio a alta temperatura constante y conocida y por el otro medio a baja temperatura constante y conocida.

La figura 6.20 representa una pared compuesta de tipo generalmente utilizado en un horno.

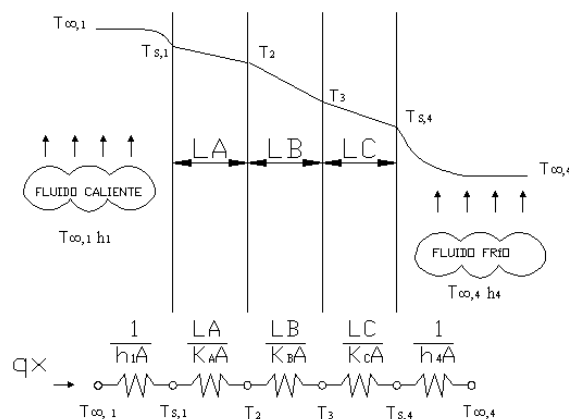


Figura 6.20 Circuito térmico equivalente para una pared compuesta en serie.

Elaborado: Jaime Toasa

Analizando el circuito térmico obtendremos la siguiente ecuación.

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,4}}{\sum R_t} \quad (6.6)$$

### Cálculo de pérdidas de calor.

#### Resistencias térmicas en las paredes del horno.

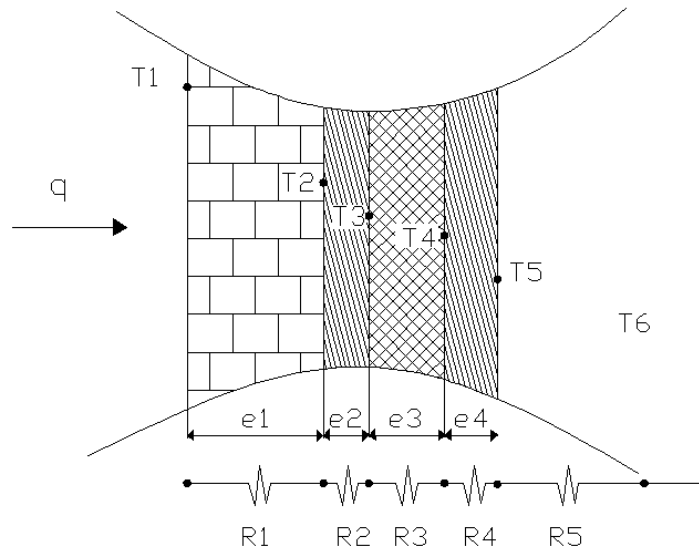


Figura 6.21 Corte de pared lateral cámara de calentamiento.

Elaborado: Jaime Toasa

Donde:

T1 = Temperatura en la pared interior del horno = 1100°C

T5 = Temperatura en la superficie exterior del horno = 50°C (Asumido)

T6 = Temperatura del ambiente = 20°C

e1 = Espesor del ladrillo refractario = 0.127m

e2 = Espesor del tol negro = 0.002m

e3 = Espesor de la manta cerámica = 0.0254m

e4 = Espesor del tol negro = 0.0015m

R1 = Resistencia térmica del ladrillo refractario

R2 = Resistencia térmica del tol negro de 2mm

R3 = Resistencia térmica de la manta cerámica

R4 = Resistencia térmica del tol negro de 1.5 mm

R5 = Resistencia térmica por convección del aire

Siendo:

$$R1 = \frac{e1}{k1 * A1} \quad \text{Conducción}$$

$$R2 = \frac{e2}{k2 * A2} \quad \text{Conducción}$$

$$R3 = \frac{e3}{k3 * A3} \quad \text{Conducción}$$

$$R4 = \frac{e4}{k4 * A4} \quad \text{Conducción}$$

$$R5 = \frac{1}{h0 * A4} \quad \text{Convección}$$

Donde:

K1 = Conductividad térmica del ladrillo refractario

K1 = 1.07 W/m°C (Anexo 1)

K2 = Conductividad térmica del tol negro de 2 mm

K2 = 43W/m°C (Anexo 9)

K3 = Conductividad térmica de la manta cerámica

K3 = 0.038W/m°C (Anexo 4)

K4 = Conductividad térmica del tol negro de 1.5 mm

K4 = 43W/m°C (Anexo 9)

ho = Coeficiente de convección en el exterior del horno

A1 = Área de transferencia de calor del ladrillo refractario

A2 = Área de transferencia de calor del tol negro

A3 = Área de transferencia de calor de la manta cerámica

A4 = Área del exterior del horno

**Cálculo de áreas de transferencia de calor.**

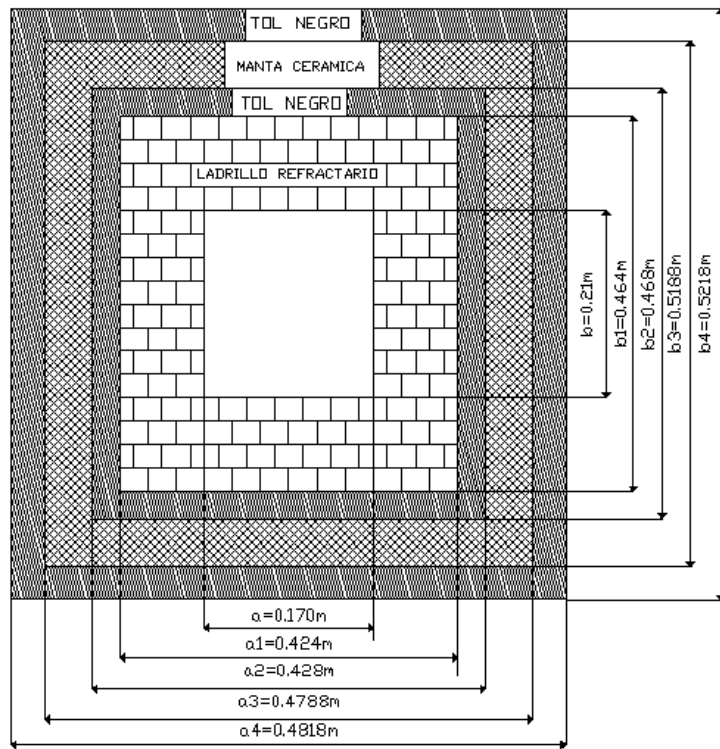


Figura 6.22 Vista frontal Cámara de calentamiento.

Elaborado: Jaime Toasa

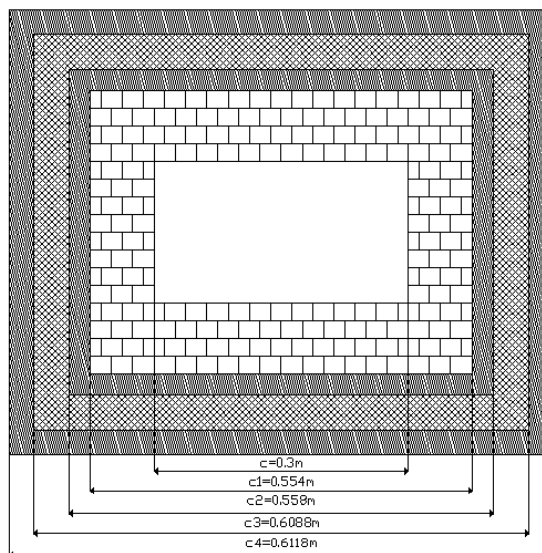


Figura 6.23 Vista Lateral Cámara de Calentamiento.

Elaborado: Jaime Toasa

Para el cálculo de las áreas se supondrá que las paredes son homogéneas es decir que no se tomará en cuenta las aberturas dejadas para las resistencias eléctricas.

$$A1 = 2((a1*c1)+(b1*c1)+(a1*b1))$$

$$A1 = 2((0.424m*0.554m)+(0.464m*0.554m)+(0.424m*0.464))$$

$$A1 = 1.377m^2$$

$$A2 = 2((a2*c2)+(b2*c2)+(a2*b2))$$

$$A2 = 2((0.428m*0.556m)+(0.468m*0.556m)+(0.428m*0.468m))$$

$$A2 = 1.396 m^2$$

$$A3 = 2((a3*c3)+(b3*c3)+(a3*b3))$$

$$A3 = 2((0.4788m*0.6068m)+(0.5188m*0.6068m)+(0.4788m*0.5188m))$$

$$A3 = 1.707 m^2$$

$$A4 = 2((a4*c4)+(b4*c4)+(a4*b4))$$

$$A4 = 2((0.4818m*0.6098m)+(0.5218m*0.6098m)+(0.4818m*0.5218m))$$

$$A4 = 1.726m^2$$

### **Cálculo del Coeficiente de convección del Aire.**

Para conocer el valor del coeficiente de transferencia de calor por convección debe hacerse uso del número de Nusselt, número adimensional que relaciona la resistencia conducción entre la película del fluido en contacto con la pared sólida y la resistencia de convección del fluido en movimiento.

Para evaluar el número de Nusselt se puede hacer uso de la siguiente ecuación:

$$Nu = C(Gr * Pr)^m \tag{6.7}$$

Donde:

Gr = Número de Grashof

Pr = Número de Prandt

C y P = Constantes

$$Gr = (\Delta T) \left( \frac{g*\beta*\rho^2}{u^2} \right) L^3 \tag{6.8}$$

g = Aceleración de la gravedad

$\beta$  = Coeficiente de expansión térmica volumétrica

$\rho$  = Densidad del aire

$u$  = Viscosidad absoluta

$\Delta T$  = Diferencia de temperaturas entre la superficie exterior del horno y el medio ambiente =  $T_5 - T_6$

$L$  = Longitud característica

Las propiedades del aire se evalúan con la temperatura fílmica:

$$T_f = \frac{T_5 + T_6}{2} = \frac{50 + 20}{2} = 35^\circ\text{C} = 308^\circ\text{K}$$

Con esta temperatura fílmica determinamos las propiedades del aire.

Tabla 6.13 Valores de las propiedades del aire (Anexo10)

Elaborado: Jaime Toasa

T(°K)	P(Kg/m <sup>3</sup> )	u(Kg/m.s)x10 <sup>-5</sup>	Pr	K(W/m°C)
300	1.1774	1.983	0.708	0.026
350	0.9880	2.075	0.697	0.03

Interpolando con la temperatura de 308 °K tenemos:

Tabla 6.14 Valores de las propiedades del aire a 308 °K

Elaborado: Jaime Toasa

T(°K)	P(Kg/m <sup>3</sup> )	u(Kg/m.s)x10 <sup>-5</sup>	Pr	K(W/m°C)
308	1.1486	1.9977	0.70624	0.02664

### Longitud Característica.

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_H} + \frac{1}{L_V} \quad (6.9)$$

$L$  = Longitud Característica

$L_H$  = Longitud horizontal de la cámara

$L_V$  = Longitud vertical de la cámara

$$LH = a+2(e1+e2+e3+e4) = 0.4818\text{m}$$

$$LV = b+e1+e2+e3+e4 = 0.3659\text{m}$$

Despejando L tenemos:

$$L = \frac{1}{\frac{1}{LH} + \frac{1}{LV}} = \frac{1}{\frac{1}{0.4818} + \frac{1}{0.3659}} = 0.2079\text{m}$$

**Coefficiente de expansión térmica volumétrica.**

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad (6.10)$$

$$\beta = \frac{1}{308 \text{ } ^\circ\text{K}}$$

$$\beta = 3.246 * 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$$

$$Gr = (\Delta T) \left( \frac{g * \beta * \rho^2}{u^2} \right) L^3 \quad (6.11)$$

$$Gr = (50 - 18) \left( \frac{9.81 * 3.246 * 10^{-3} * 1.1486^2}{(1.9977 * 10^{-5})^2} \right) 0.2079^3$$

$$Gr = (32)(1.052 * 10^8)(0.0089)$$

$$Gr = 3.0250 * 10^6$$

**Número de Rayleigh**

$$Ra = Gr * Pr \quad (6.12)$$

$$Ra = (3.0250 * 10^6)(0.70624)$$

$$Ra = 2.1363 * 10^6$$

Si  $10^4 < Gr * Pr < 10^9$  entonces  $C=0.6$  y  $m=1/4$

Número de Nusselt

$$Nu = C(Pr * Gr)^m \quad \text{Aplicando la ecuación 6.7}$$

$$Nu = 0.6(0.70624 * 3.0250 * 10^6)^{1/4}$$

$$Nu = 22.93$$

Coefficiente de Convección

$$h = \frac{Nu * K}{L} \quad (4.13)$$

$$h = \frac{22.93 * 0.026664 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}}{0.2079 \text{ m}}$$

$$h = 2.94 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$$

### **Pérdida de Calor Total.**

$$q = \frac{T_1 - T_6}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \quad (6.14)$$

$$q = \frac{T_1 - T_6}{\frac{e_1}{K_1 * A_1} + \frac{e_2}{K_2 * A_2} + \frac{e_3}{K_3 * A_3} + \frac{e_4}{h * A_4}}$$

$$q = \frac{1100 - 20}{\frac{0.127}{1.04 * 1.377} + \frac{0.002}{43 * 1.396} + \frac{0.0254}{0.038 * 1.707} + \frac{1}{4.852 * 1.726}}$$

$$q = 1799.93 \text{ W}$$

### **Pérdidas de calor debido a la apertura de compuertas.**

Debemos anotar que existe una pérdida de calor por radiación debido a la apertura de la compuerta donde se produce una diferencia de temperatura entre la cámara y el ambiente.

Debido al poco tiempo que la compuerta permanece abierta la transferencia de calor es mínima ya que la recuperación de temperatura es inmediata; razón por la cual no será considerada en las pérdidas de calor.

### **Rendimiento del Horno.**

Se obtiene a partir del calor requerido  $Q_c$  y el calor total perdido que según la ecuación de rendimiento térmico así:

$$n = \frac{Q_c}{Q_c + q} \quad (6.15)$$

$$n = \frac{2775.06}{2775.06 + 1799.93}$$



$$n = 0.60$$

### **Energía requerida del horno.**

La energía requerida por el horno se obtiene relacionando el calor requerido para calentar la carga en un determinado tiempo y el rendimiento.

$$P = \frac{Qc}{n * t} \quad (4.16)$$

Donde:

t = tiempo necesario para calentar el Acero DF2 (tratamiento térmico).

t = 1 Hora

$$P = \frac{2775.06}{0.6 * 1}$$

$$P = 4625.1W$$

### **Cálculo de la resistencia eléctrica.**

Con la potencia obtenida anteriormente se puede calcular el valor de la resistencia necesario para el funcionamiento óptimo del horno, también se puede obtener un dato necesario que es la corriente con la que se alimentará el circuito eléctrico.

Mediante la ley de ohm tenemos que:

$$P = V * I \quad (6.17)$$

Donde:

P = Potencia del horno, cuyo valor es de 4625.1 W.

V = Tensión disponible, cuyo valor es de 220 V

I = Intensidad del horno en Amp.

De aquí podemos despejar I:

$$I = \frac{P}{V} \quad (6.18)$$

El circuito será alimentado con 220 V, entonces:

$$I = \frac{4625.1 W}{220 V}$$

$$I = 21.90 \text{ Amp.}$$

Con el valor de la corriente obtendremos el valor de la resistencia con:

$$R = \frac{V}{I} \quad (6.19)$$

$$R = \frac{220 \text{ V}}{21.90 \text{ Amp}}$$

$$R = 10.46 \Omega$$

Para este horno utilizaremos un tipo de material especial para hornos de alta temperatura llamado NICROMO el cual es una aleación de níquel – cromo y está diseñado para trabajar con temperaturas de hasta 1200° C.

Es necesario conocer algunas propiedades del nicromo ya que tendremos que saber cuánto material será necesario utilizar para hacer las resistencias, estas propiedades son importantes porque cambian dependiendo del tipo de aleación con que se trabaje.

Tabla 6.15 Propiedades del Nicromo (Anexo 8)

Elaborado: Jaime Toasa

<b>Propiedades del NICROMO.</b>	
Tipo de aleación	Níquel – Cromo (80 – 20)
Calibre 17 AWG	1.150 mm
Resistividad ( $\rho$ )	$1.77 \times 10^{-6} \Omega \text{ m}$
Coeficiente de resistividad a 1200 °C (ct)	1.045

Las resistencias que se utilizarán serán del tipo arrollado en espiral las mismas que estarán ubicadas en las paredes del ladrillo refractario.

Resistencia eléctrica a 20° C.

Este dato es importante porque con él conoceremos la resistencia por metro que existe en el nicromo.

$$R_{20} = \frac{\rho * L}{A} \quad (6.20)$$

Donde:

$R_{20}$  = Resistencia eléctrica a 20 °C.

$\rho$  = Resistividad en  $\Omega$ -m.

L = Longitud del material en m.

A = Área transversal en  $m^2$ .

$$A = \frac{\pi\phi^2}{4} \quad (6.21)$$

Donde:

$\phi$  = Diámetro del conductor m.

$$A = \frac{\pi(1.15 * 10^{-3}m)^2}{4}$$

$$A = 1.038 * 10^{-6} m^2$$

$$R_{20} = \frac{1.77 * 10^{-6} \Omega m * 1m}{1.038 * 10^{-6} m^2}$$

$$R_{20} = 1.705 \Omega$$

Así tenemos que por cada metro habrá 1.7  $\Omega$

### **Cálculo de la resistencia eléctrica a la temperatura de trabajo.**

Esta resistencia será calculada con el coeficiente de resistividad, este coeficiente nos sirve para saber cuánto cambia la resistencia con los cambios de temperatura. El valor del coeficiente será de 1.045 a 1200° C tomado de tablas de coeficientes del nicromo (Ver Anexo 8).

$$R_T = C_t \times R_{20} \quad (4.22)$$

Donde:

$R_T$  = Resistencia eléctrica a la temperatura de trabajo en  $\Omega$ .

$C_t$  = Coeficiente de resistividad a 1200 °C

$$R_T = 1.045 * 1.705 \Omega = 1.781 \Omega$$

Con esto tenemos que a la temperatura de trabajo la resistencia cambia a 1.781  $\Omega$  por metro.

Ahora, con el valor obtenido de  $10.46 \Omega$  para el horno y el valor obtenido de  $1.781 \Omega / m$  de la resistencia de trabajo, podemos saber cuánto material será necesario para hacer las resistencias:

$$L = \frac{R}{RT} \quad (6.23)$$

$$L = \frac{10.52 \Omega}{1.7765 \Omega / m}$$

$$L = 13.62 m$$

### 6.6.8 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL HORNO.

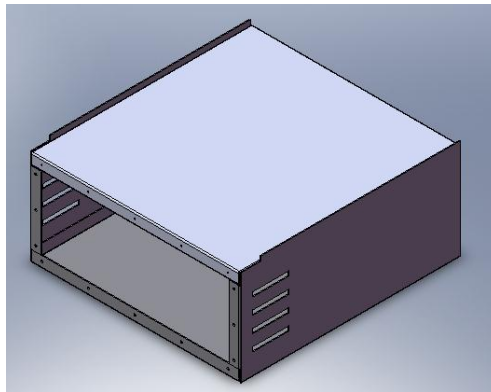


Figura 6.24 Estructura (soporte de ladrillos refractarios).

Elaborado: Jaime Toasa

Como se puede apreciar el pórtico principal de la estructura es:

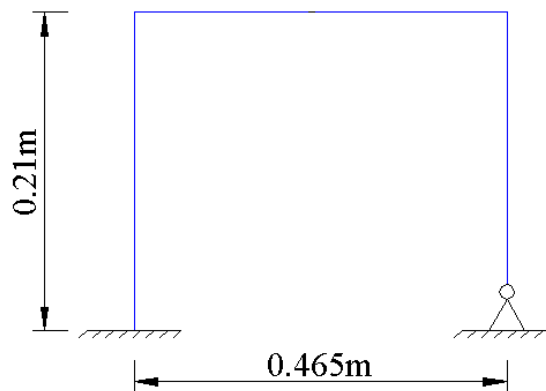


Figura 6.25 Pórtico principal de la Estructura del Horno

Elaborado: Jaime Toasa

## Cargas.

Para el cálculo de las cargas que debe soportar la estructura (soporte de ladrillos refractarios) se deben tomar en cuenta lo siguiente:

- Peso de ladrillos refractarios utilizados en la cámara de calentamiento (52 unidades).

$$m_{lr1} = 3.63 \text{ Kg}$$

$$m_{lr52} = (3.63 \text{ Kg})(52) = 188.76 \text{ Kg}$$

- Peso de la carcasa frontal.

$$m_{cf} = 3.63 \text{ Kg}$$

- Peso cubierta de ladrillos.

$$m_{cl} = 10 \text{ Kg}$$

- Peso de carcasa.

$$m_c = 10.2 \text{ Kg}$$

- Peso de la puerta lo cual está constituido por los siguientes elementos.

Cubierta de ladrillos de la puerta.

$$m_{clp} = 1.4 \text{ Kg}$$

Carcasa de la puerta.

$$m_{cp} = 1.7 \text{ Kg}$$

Ladrillos refractarios de la puerta (2 unidades).

$$m_{lp} = (3.63 \text{ kg})(2) = 7.26 \text{ Kg}$$

- Placa de ladrillos.

$$m_{pl} = 2.6 \text{ Kg}$$

- Tapa Posterior.

$$m_{tp} = 3.4 \text{ Kg}$$

- Soporte de la puerta.

$$m_{sp} = 10 \text{ Kg}$$

- Mortero refractario.

$$m_{mr} = 8 \text{ Kg}$$

- Manta cerámica.

$$m_{mc} = 1.7 \text{ Kg}$$

En si el peso total que va a soportar nuestra estructura es la siguiente:

$$m_t = m_{lr52} + m_{cf} + m_{cl} + m_c + m_{clp} + m_{cp} + m_{lp} + m_{pl} + m_{tp} + m_{sp} + m_{mr} + m_{mc}$$

$$m_t = 188.76\text{kg} + 2\text{kg} + 10\text{kg} + 10.2\text{kg} + 1.4\text{kg} + 1.7\text{kg} + 7.26\text{kg} + 2.6\text{kg} + 3.4\text{kg} + 10\text{kg} + 8\text{kg} + 6\text{kg}$$

$$m_t = 251.32 \text{ kg}$$

Transformando a KN tenemos:

$$\frac{251.32 \text{ Kg} \cdot 9.807 \text{ N}}{1 \text{ Kg}} = 2.465 \text{ kN}$$

Por lo tanto la carga para el pórtico es la siguiente:

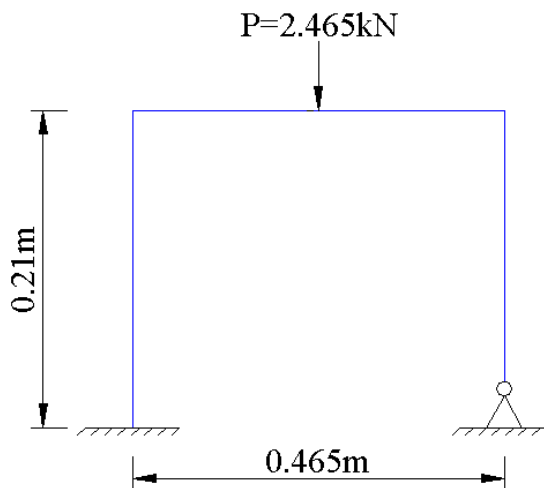


Figura 6.26 Carga aplicada en el pórtico principal de la Estructura del Horno.

Elaborado: Jaime Toasa

Solución:

El método utilizado para la solución del pórtico es el método de los desplazamientos.

1. Debemos encontrar las ligaduras lineales el mismo que sirve para impedir el desplazamiento de los nodos.

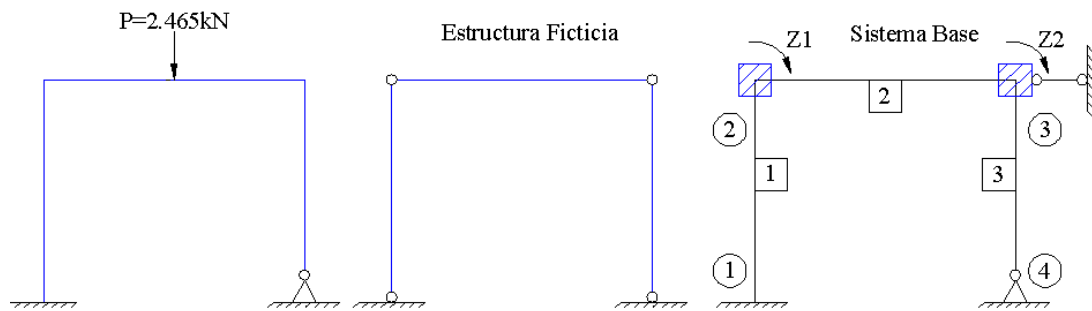


Figura 6.27 Pórtico, estructura ficticia y sistema base .

Elaborado: Jaime Toasa

Las ligaduras lineales lo podemos encontrar mediante la siguiente ecuación:

$$L = 2n - (b + b_0) \quad (6.24)$$

Donde:

$L$  = Número de ligaduras lineales.

$n$  = Número de articulaciones en la estructura ficticia (es decir en la estructura convertida en armadura).

$b$  = Cantidad de barras en la estructura ficticia (no se cuenta las barras en voladizo o las curvas).

$b_0$  = Número de ligaduras de enlace con la bancada (cimentación) = número de componentes de reacción.

Datos:

$$n = 4$$

$$b = 3$$

$$b_0 = 4$$

$$L = 2(4) - (3 + 4)$$

$$L = 1 \text{ Ligadura Lineal}$$

Se necesitan tres ecuaciones, debido a las dos ligaduras angulares y una lineal.

$$r_{11}Z_1 + r_{12}Z_2 + r_{13}Z_3 + R_{1P} = 0$$

$$r_{21}Z_1 + r_{22}Z_2 + r_{23}Z_3 + R_{2P} = 0$$

$$r_{31}Z_1 + r_{32}Z_2 + r_{33}Z_3 + R_{3P} = 0$$

Determinación  $r_{i1}$  para  $Z_1=1$

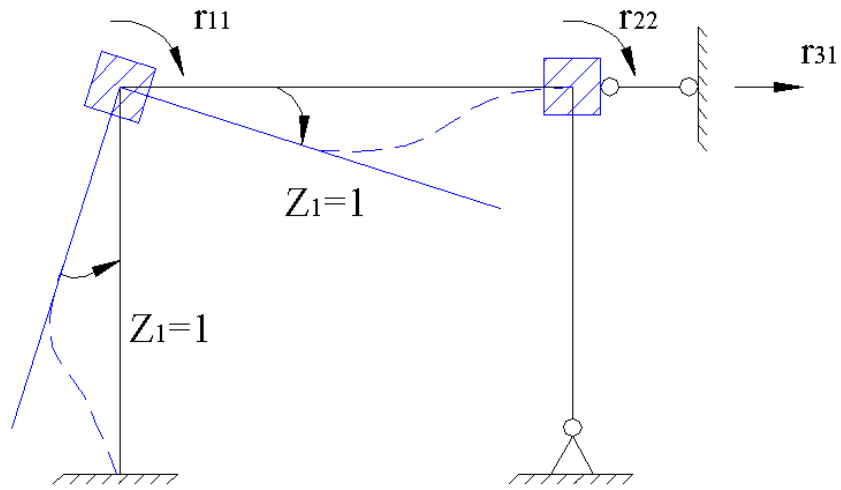


Figura 6.28 Diagrama para la determinación de  $r_{i1}$  para  $Z_1 = 1$ .

Elaborado: Jaime Toasa

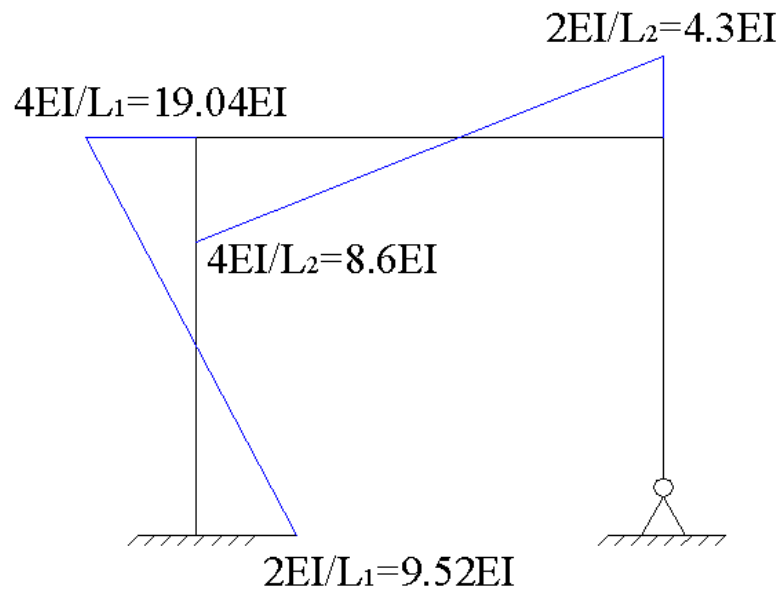
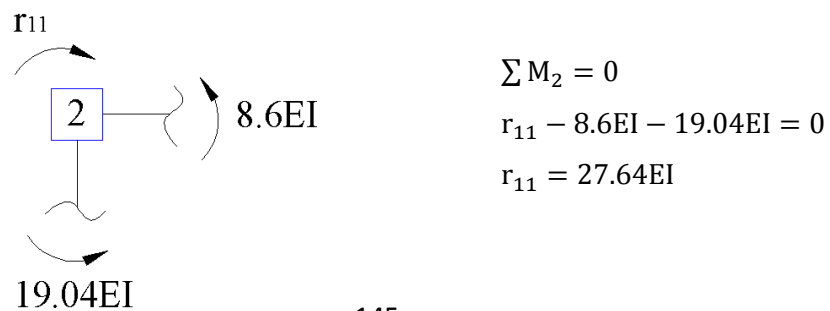
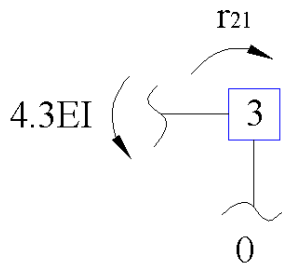


Figura 6.29 Diagrama de momentos  $M_1$ .

Elaborado: Jaime Toasa







$$\begin{aligned} \sum M_3 &= 0 \\ r_{21} - 4.3EI &= 0 \\ r_{21} &= 4.3EI \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0 \\ r_{31} + 136.05EI &= 0 \\ r_{31} &= -136.05EI \end{aligned}$$

Determinación  $r_{i2}$  para  $Z_2 = 1$

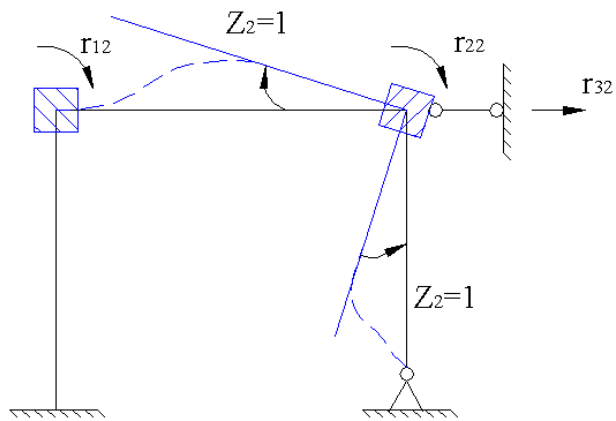


Figura 6.30 Diagrama para la determinación de  $r_{i2}$  para  $Z_2 = 1$ .

Elaborado: Jaime Toasa

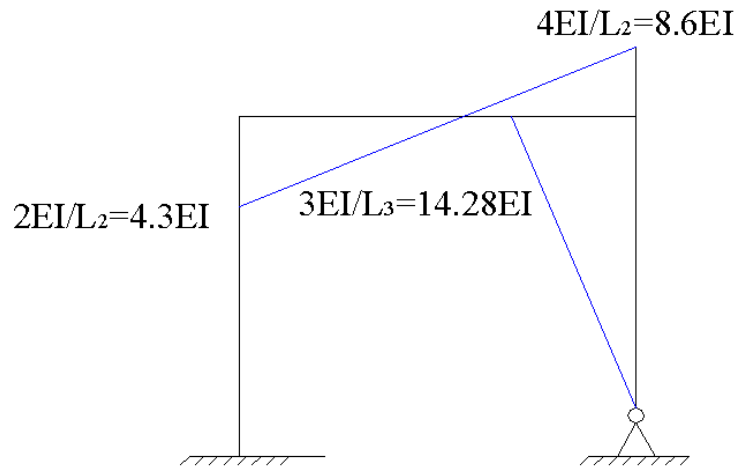
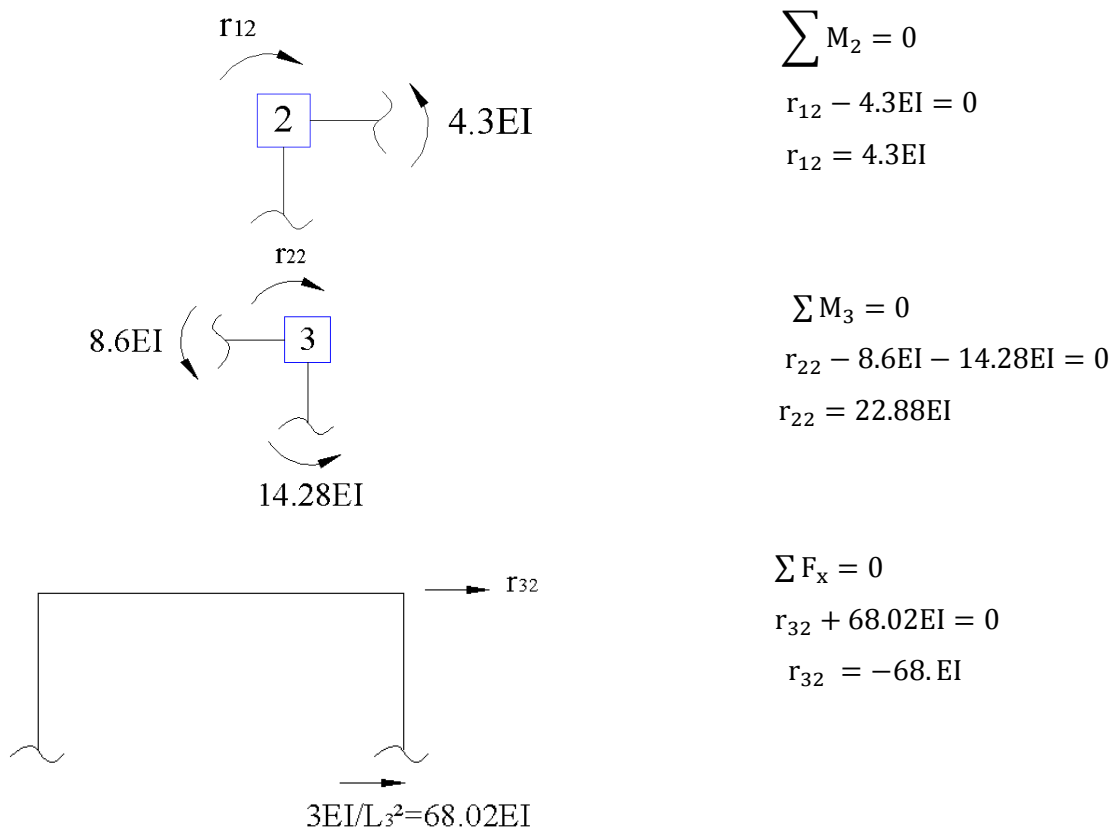


Figura 6.31 Diagrama de momentos  $M_2$ .

Elaborado: Jaime Toasa



Determinación  $r_{13}$  para  $Z_3 = 1$

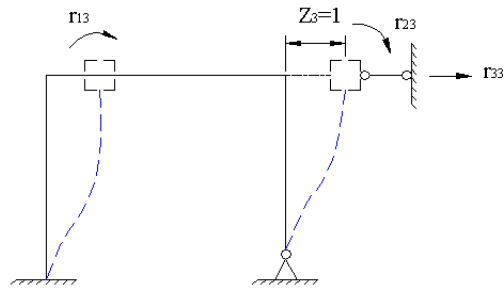


Figura 6.32 Diagrama para la determinación de  $r_{13}$  para  $Z_3 = 1$ .

Elaborado: Jaime Toasa

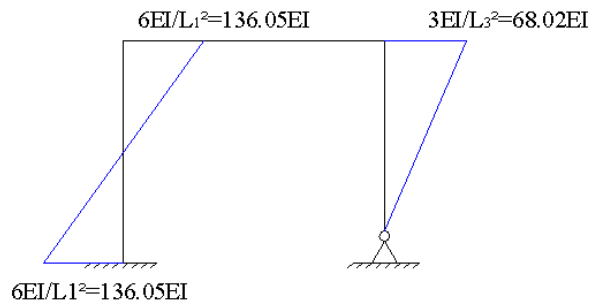
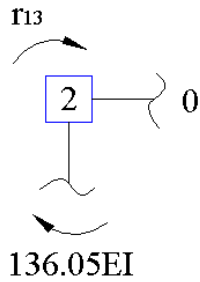
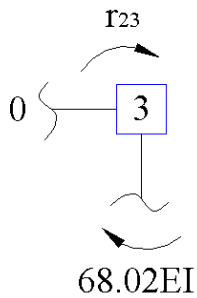


Figura 6.33 Diagrama de momentos  $M_3$ .

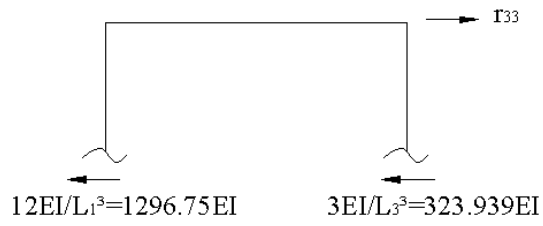
Elaborado: Jaime Toasa



$$\begin{aligned} \sum M_2 &= 0 \\ r_{31} + 136.05EI &= 0 \\ r_{31} &= -136.05EI \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \sum M_3 &= 0 \\ r_{23} + 68.02EI &= 0 \\ r_{23} &= -68.02EI \end{aligned}$$



$$\sum F_x = 0$$

$$r_{33} - 1296.75EI - 323.939EI = 0$$

$$r_{33} = 1619.68EI$$

Determinación de Rip

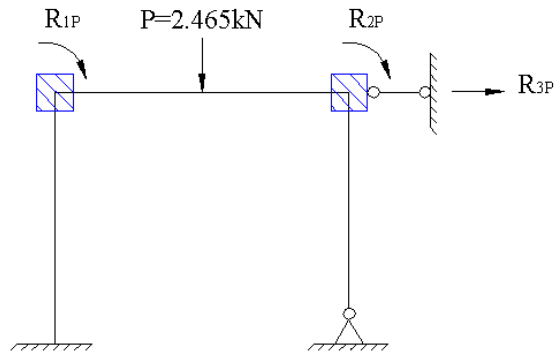


Figura 6.34 Diagrama para la determinación de  $r_{i3}$  para  $Z_3 = 1$ .

Elaborado: Jaime Toasa

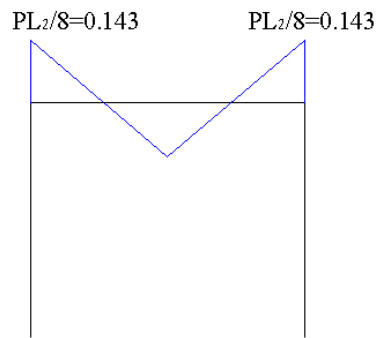
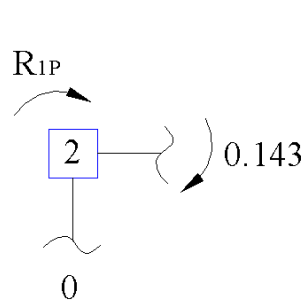


Figura 6.35 Diagrama para la determinación de  $M_p$ .

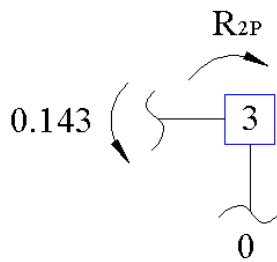
Elaborado: Jaime Toasa



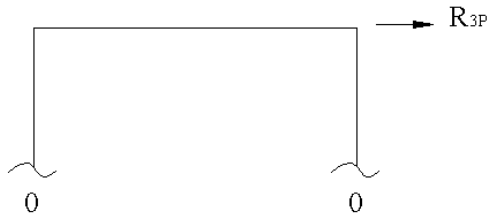
$$\sum M_2 = 0$$

$$R_{1P} + 0.143 = 0$$

$$R_{1P} = -0.143$$



$$\begin{aligned}\sum M_3 &= 0 \\ R_{2P} + 0.143 &= 0 \\ R_{2P} &= -0.143\end{aligned}$$



$$R_{3P} = 0$$

Remplazando los valores en las ecuaciones tenemos:

$$\begin{aligned}27.64EIz_1 + 4.3EIz_2 + 136.05EIz_3 &= 0.143 \\ 4.3EIz_1 + 22.88EIz_2 - 68.02EIz_3 &= -0.143 \\ -136.05EIz_1 - 68.02EIz_2 + 1319.68EIz_3 &= 0\end{aligned}$$

Ordenando y resolviendo el sistema de ecuaciones tenemos:

$$\begin{bmatrix} 27.64 & 4.3 & 136.05 \\ 4.3 & 22.88 & -68.02 \\ -136.05 & -68.02 & 1319.68 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.143 \\ -0.143 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$Z_1 = 0.0082/EI$$

$$Z_2 = -0.0065/EI$$

$$Z_3 = 0.0004/EI$$

Momentos flectores en los elementos [kN.m]

Elemento 1:

$$M_1 = -9.52EIz_1 + 136.05EIz_3$$

$$M_1 = -9.52EI(0.0082) + 136.05EI(0.0004)$$

$$M_1 = -0.021$$

$$M_2 = 19.04EIz_1 - 136.05EIz_3$$

$$M_2 = 19.04EI(0.0082) - 136.05EI(0.0004)$$

$$M_2 = 0.1002$$

Elemento 2:

$$M_2 = -8.6EI Z_1 - 4.3EI Z_2 + 0.143$$

$$M_2 = -8.6EI(0.0082) - 4.3EI(-0.0065) + 0.143$$

$$M_2 = 0.1002$$

$$M_3 = 4.3EI Z_1 + 8.6EI Z_2 + 0.143$$

$$M_3 = 4.3EI(0.0082) - 4.3EI(-0.0065) + 0.143$$

$$M_3 = 0.122$$

Elemento 3:

$$M_3 = 0EI Z_1 - 14.28EI Z_2 + 68.02 Z_3$$

$$M_3 = 0EI(0.0082) - 14.28EI(-0.0065) + 68.02(0.0004)$$

$$M_3 = 0.122$$

$$M_4 = 0$$

Cálculo de reacciones.

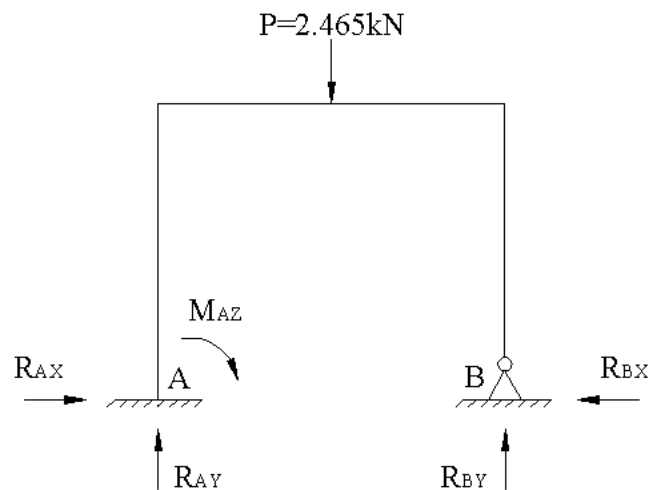


Figura 6.36 Pórtico incluido reacciones y momentos.

Elaborado: Jaime Toasa

$$M_{AZ} = 0.02 \text{ kN.m}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$(R_{BY})(0.465) - 0.02 - (2.465) \left( \frac{0.465}{2} \right) = 0$$

$$R_{BY} = 1.275 \text{ kN}$$

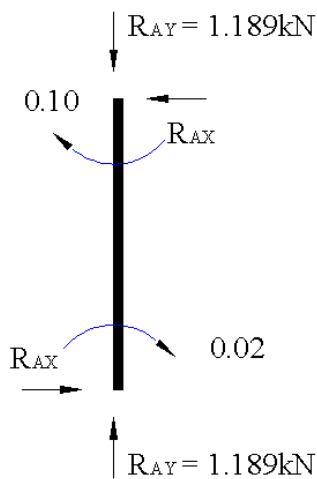
$$\sum F_y = 0$$

$$R_{AY} + R_{BY} - 2.465 = 0$$

$$R_{AY} = 2.465 - 1.275$$

$$R_{AY} = 1.189 \text{ kN}$$

Considerando el elemento 1.



$$\sum M_i = 0$$

$$(R_{AX})(0.21) - 0.10 - 0.02 = 0$$

$$R_{AX} = 0.571 \text{ kN}$$

Considerando el elemento 2

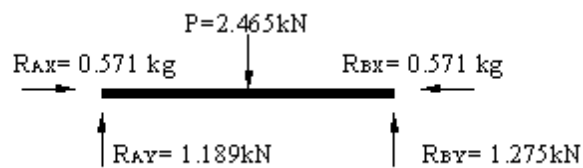


Figura 6.37 Reacciones y momentos en elemento 2 del pórtico.

Elaborado: Jaime Toasa

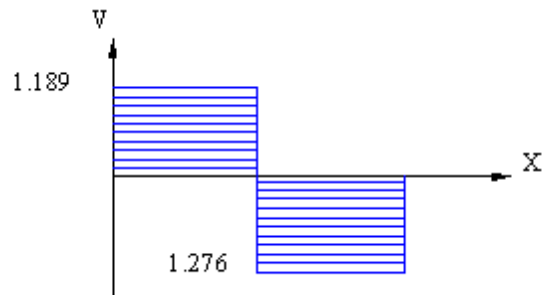


Figura 6.38 Diagrama de esfuerzos cortantes

Elaborado: Jaime Toasa

Diagrama de momentos total.

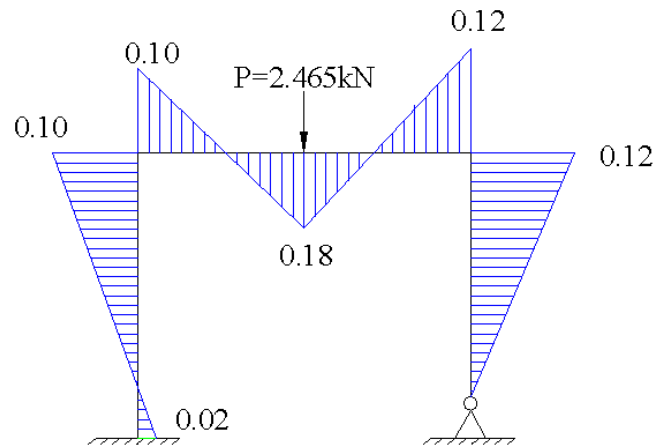


Figura 6.39 Diagrama de momentos flectores.

Elaborado: Jaime Toasa

### Cálculo del factor de seguridad de la estructura.

Momento máximo=180kN.m

$c=0.122\text{m}$

$I=1.99 \times 10^{-7} \text{ m}^4$

$$\sigma = \frac{M c}{I}$$

$$\sigma = \frac{(180)(0.122)}{1.99 \times 10^{-7}}$$

$$\sigma = 110.35 \text{ MPa}$$



Dentro de diseño se puede determinar el factor de seguridad de la siguiente manera:

$$\sigma \leq \frac{Sy}{n}$$

Para la determinación del factor de seguridad se calcularán los factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga en el material, se usan las siguientes fórmulas:

$$n = \frac{Sy}{\sigma}$$

$Sy = 250 \text{MPa}$  (Anexo 5)

$$n = \frac{250}{110.35}$$

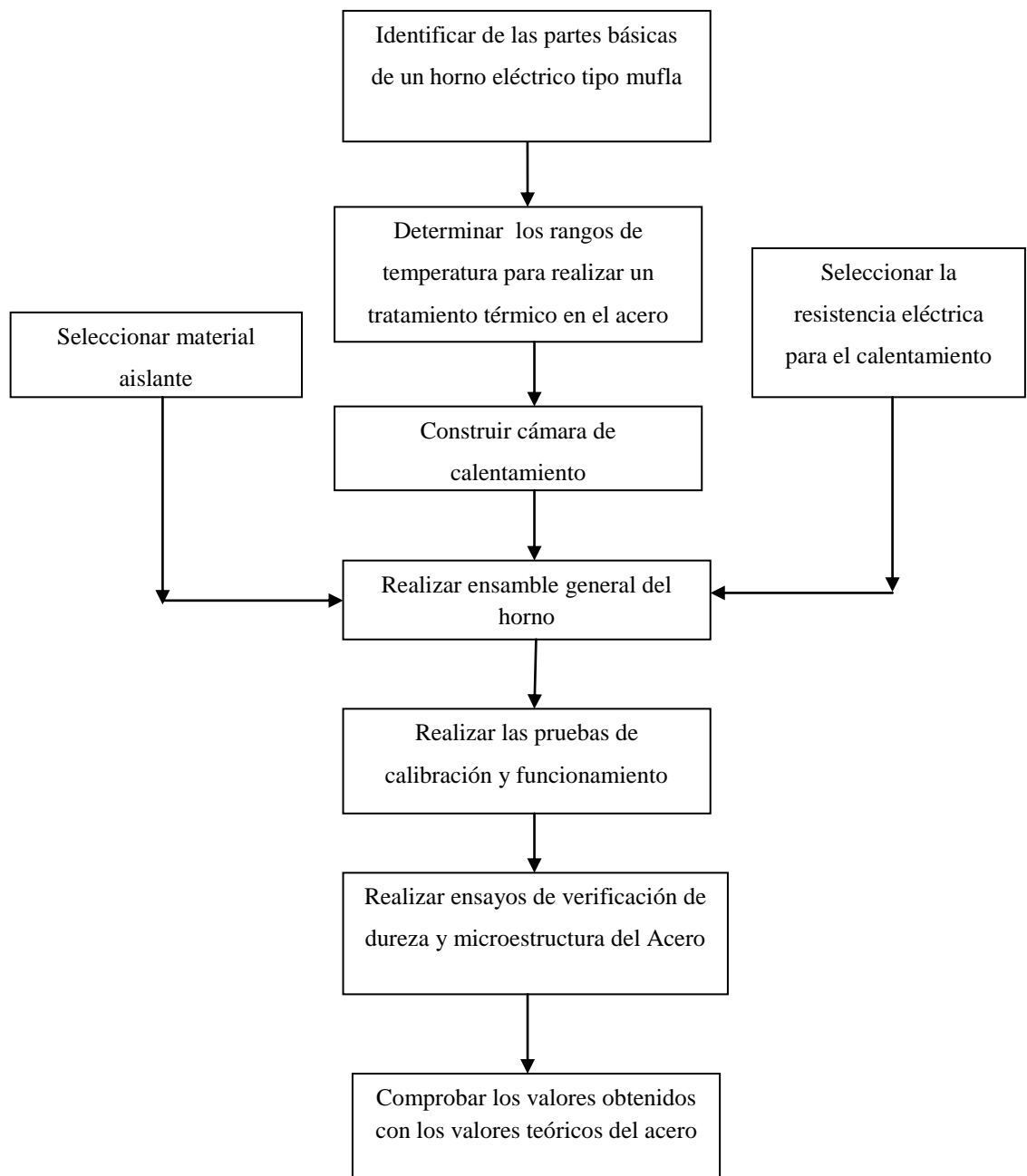
$$n = 2.26$$

El material seleccionado si soporta la carga.

## 6.7 METODOLOGÍA

### 6.7.1 Construcción del Horno eléctrico tipo mufla para realizar tratamientos térmicos en el Acero.

El procedimiento de ejecución para la presente propuesta cuenta con varias etapas que permitan la implementación del Horno eléctrico tipo mufla para realizar tratamientos térmicos en el Acero.



## **6.8 ADMINISTRACIÓN**

### **6.8.1 Planeación**

Es muy importante tomar en cuenta la vida útil del horno eléctrico tipo mufla, por tanto se presentan los siguientes puntos que ayudaran a mantenerla:

- Encender el equipo únicamente cuando se vayan a realizar prácticas de Tratamientos térmicos en el Acero.
- Antes de trabajar verificar que las conexiones eléctricas se encuentren en buen estado.
- Verificar que la cámara de calentamiento se encuentre limpia y sin ningún defecto.
- Seguir las instrucciones de la guía de práctica para aprovechar la vida del equipo.

### **6.8.2 Organización**

Para el manejo correcto y óptima utilización se ha realizado una pequeña guía de funcionamiento y operación del horno, con la finalidad de evitar daños que conllevan a un mal funcionamiento del equipo.

### **6.8.3 Dirección**

Con la ayuda del profesor encargado del área de Materiales y la adecuada utilización del ayudante del Laboratorio se podrá dar un buen control y mantenimiento durante y después de las prácticas para evitar posibles daños y desconfiguraciones.

#### **6.8.4 Control**

Si durante las prácticas existe alguna anomalía o fallos comentarlos al profesor o al ayudante para que realicen los correctivos necesarios y evitar mayores daños en el equipo.

### **6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN**

El objetivo principal de la previsión de la evaluación es exponer las mejoras para la propuesta, presentar los resultados obtenidos durante las pruebas y finalmente exponer las observaciones técnicas de la propuesta.

#### **6.9.1 Mejoras para la Propuesta**

Las mejoras son cambios positivos que pueden ser implementados a futuro, con el objetivo de incrementar las capacidades de la máquina. A continuación se presentan algunas de estas mejoras.

- Disponer de una cámara de calentamiento mucho más amplia.
- Poner un recubrimiento (Mortero refractario) adicional en el interior de la cámara de calentamiento para evitar daños en el ladrillo refractario.
- Proteger a las resistencias eléctricas con algún material refractario para evitar el deterioro de las mismas.
- Disponer de algún dispositivo eléctrico en la puerta para evitar que puedan abrir en el momento que se esté realizando las prácticas.

## GUÍA DE FUNCIONAMIENTO

A continuación se detalla la forma en la que se va a manipular el equipo para que el mismo funcione de una manera óptima.

- Seleccionar el tipo de Acero a realizar el tratamiento Térmico.
- Determinar tipo de tratamiento térmico a realizar.
- Determinar la temperatura y en tiempo del tratamiento térmico.
- Ubicamos las probetas en el interior del horno a realizar el tratamiento térmico.
- Una vez que se tiene todos los parámetros para realizar el tratamiento térmico se pulsa el interruptor de encendido general del horno.
- A continuación se pulsa en los botones del controlador de temperatura para poner la temperatura en la cual se va a realizar el tratamiento térmico.
- Además debemos poner el tiempo del tratamiento térmico en el temporizador, el mismo que está ubicado en parte frontal del horno.
- Una vez que el horno ha alcanzado la temperatura y cumplido el tiempo del tratamiento térmico el horno se apagará automáticamente.

## **GUÍA DE MANTENIMIENTO.**

A continuación se presentan tareas que dependiendo de su utilidad se las debe realizar antes, durante y después de la práctica. Estas tienen como finalidad la realización de un mantenimiento preventivo que incremente la vida útil del equipo, para lo cual las tareas deben realizarse en cooperación del ayudante encargado del laboratorio y los estudiantes que realicen las prácticas.

### **ANTES DE LA PRÁCTICA:**

- Realizar una inspección visual en toda la estructura y conexiones eléctricas verificando que no exista daños, golpes, desajustes.
- Verificar que la cámara de calentamiento se encuentre limpia y en buen estado.
- Comprobar el estado de funcionamiento del controlador de temperatura, temporizador y demás dispositivos eléctricos.
- Para prevenir peligro de incendios, el horno no debe utilizarse cerca o debajo de cortinados u otros materiales combustibles.

### **DURANTE LA PRÁCTICA:**

- Realizar un control visual continuo durante el funcionamiento del equipo.
- Controlar que la temperatura no sobrepase los límites programados en el controlador de temperatura.
- Verificar que las resistencias que se encuentran en las paredes laterales disipen calor.

### **DESPUÉS DE LA PRÁCTICA:**

- Desconectar el horno eléctrico para realizar la limpieza de la cámara de calentamiento.
- Limpieza del refractario de la puerta del horno eléctrico.

- Limpieza del panel de control.

#### **MANTENIMIENTO MENSUAL:**

- Limpieza de la parte interior del panel de control así como también la limpieza de la placa electrónica.
- Verificar que el fusible se encuentre en buen estado.
- Verificar que las resistencias eléctricas se encuentren en buen estado.
- Realizar una limpieza general de la cámara de calentamiento, principalmente de la termocupla que se encuentra en la parte interna de la cámara, esto a fin de que se tenga una lectura de temperatura lo más certera posible.

## 1. BIBLIOGRAFÍA

1. SIDNEY, Avner, (1978). Introducción a la Metalurgia Física. McGraw-Ingramex S.A. México, México D.F.
2. SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett.
3. ASKELAND, Donald R. (1998). (Tercera Edición) Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Thomson. México.
4. SMITH, William, (2005). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería Materiales. Concepción Fernández. España, Madrid.
5. CARLOS A. REYES (2004). Aprende rápidamente a programar microcontroladores. Quito-Ecuador
6. José María Angulo Usategui. (2006). (Primera Edición). dsPIC Diseño Práctico de Aplicaciones. Madrid-España
7. Fernando E. Valdés y Pérez Ramón Pallas (2007). (Primera Edición). Microcontroladores Fundamentos y Aplicaciones con PIC. Mexico.
8. ACOSTA, Luis, (1972). “Guía Práctica para la Investigación Científica”. Paidós. Buenos Aires. Argentina.
9. ALCARAZ RODRÍGUEZ, Rafael Eduardo. “Elaboración de Proyectos”. Primera Edición. Editorial McGraw-Hill. México-Ecuador.
10. Yu. M. LAJTIN 1985. Metalografía y tratamiento térmico de los metales. Moscú.

### Páginas Web:

1. [http://www.sapiensman.com/control\\_automatico.htm](http://www.sapiensman.com/control_automatico.htm)
2. <http://www.parallaxinc.com> y <http://www.stampsenclase.com>
3. <http://es.wikipedia.org/wiki/termocuplas> [consulta: 17 julio 2010]
4. [www.udb.edu.sv/.../guía%20cm%20III%20y%20IV%200208.pdf](http://www.udb.edu.sv/.../guía%20cm%20III%20y%20IV%200208.pdf)
5. [www.fing.uncu.edu.ar/catedras/.../archivos/TPTTermicos.pdf](http://www.fing.uncu.edu.ar/catedras/.../archivos/TPTTermicos.pdf) -147
6. [www.udb.edu.sv/Academia/.../guía%20cm%20III%20y%20IV%200208](http://www.udb.edu.sv/Academia/.../guía%20cm%20III%20y%20IV%200208).
7. <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/lipidos/vegcomunes.html>
8. <http://www.mitecnologico.com/Main/TempleTratamientoTermicoAce>

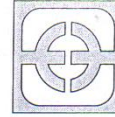


9. <http://www.slideshare.net/xMorfe0x/metodos-de-tratamientos-termicos-en-un-acero>
10. <http://www.mailxmail.com/curso-metalografia/metodos-determinartamano-grano>
11. <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/9403/6/3.4.%20El%20aceite%20vegetal.pdf>
12. <http://www.monografias.com/trabajos55/dureza-aceroaisi/durezaacero-aisi2.shtml>
13. <http://ingeniaste.com/ingenias/telecom/ventajas-desventajas-plc.html>

# Anexos

## Anexo 1

### Tipos de Ladrillos Refractarios



#### LADRILLOS REFRACTARIOS SILICO - ALUMINOSOS

Los ladrillos refractarios silico-aluminosos se fabrican a partir de arcillas seleccionadas, constituidas esencialmente por silico-aluminatos hidratados con pequeñas cantidades de otros óxidos.

Se clasifican según su refractariedad en cuatro grupos así :

**POCO REFRACTARIOS (LOW DUTY)**  
**ICONTEC -773, ASTM C-27**

Se emplean como ladrillos de respaldo en revestimientos de mayor refractariedad y para aplicaciones donde prevalecen temperatura y condiciones de operación moderadas.

**MEDIANAMENTE REFRACTARIOS (MEDIUM DUTY)**  
**ICONTEC -773, ASTM C-27**

Se utilizan en equipos donde las condiciones de operación no sean muy severas.

**ALTAMENTE REFRACTARIOS (HIGH DUTY)**  
**ICONTEC -773, ASTM C-27**

Ladrillos de buena resistencia al choque térmico y al desgaste por abrasión a temperaturas relativamente altas.

**SUPER REFRACTARIOS (SUPER DUTY)**  
**ICONTEC -773, ASTM C-27**

Ladrillos volumétricamente estables a altas temperaturas y resistentes a la acción de las escorias.

<b>UNIVERSAL 30</b>	<b>U-30</b>	Medianamente Refractario PCE 31 1/2 (1699 °C)
<b>UNIVERSAL 32</b>	<b>U-32</b>	Altamente refractario PCE 32 1/2 (1724 °C)
<b>UNIVERSAL 33</b>	<b>U-33</b>	Super refractario PCE 34 ( 1763 °C)
<b>ERECOS 40</b>	<b>ER-40</b>	Super refractario PCE 34 (1763 °C)

### **U - 30**

Ladrillo medianamente refractario. Indicado para construcción de mamposterías de hornos donde las condiciones de operación no son muy severas.

### **U - 32**

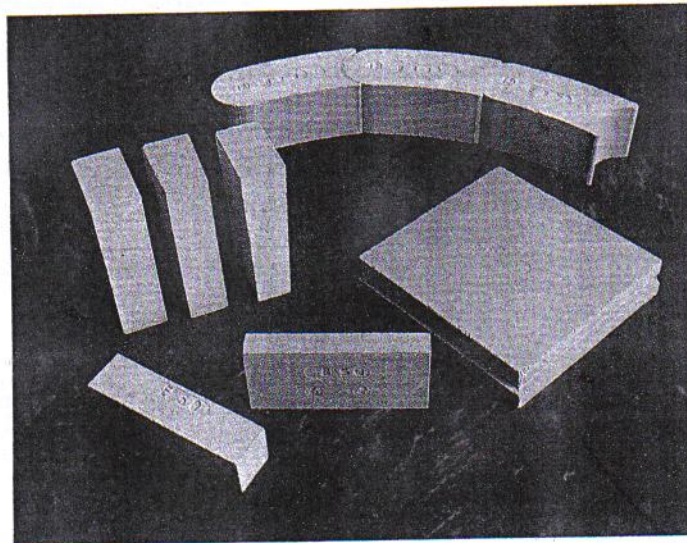
Ladrillo altamente refractario. Empleado como revestimiento de seguridad en cucharas de procesos metalúrgicos y como revestimiento de trabajo en hornos donde las condiciones de operación no son muy severas.

### **U - 33**

Ladrillo super refractario. Indicado para servicio pesado en bóvedas, muros y pisos de hornos y calderas, cámaras de combustión, zona fría de hornos rotatorios y en general donde además de una alta temperatura de servicio, sea importante una buena resistencia al choque térmico y al ataque moderado de escorias y agentes químicos. Su amplio campo de aplicación ha hecho de esta marca de ERECOS, el refractario más famoso y conocido en Colombia.

### **ER - 40**

Ladrillo super refractario, quemado a mayor temperatura que los convencionales. Con muy buena resistencia al ataque por escorias, a la abrasión y al choque térmico, de baja porosidad y alta resistencia mecánica. Utilizado en el revestimiento de cucharas para transporte de acero y de excelente desempeño en la zona fría de hornos de cemento.





## LADRILLOS REFRACTARIOS SILICO -ALUMINOSOS PROPIEDADES TÍPICAS

MARCA	U-30	U-32	U-33	ER-40
Clasificación ICONTEC -773, ASTM C-27	Medianamente Refractarios Medium Duty	Altamente Refractarios High Duty	Super Refractarios Super Duty	Super Refractarios Super Duty
Análisis Químico				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40.0	40.5	42.5	41.5
SiO <sub>2</sub>	54.5	54.0	52.5	53.5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.4	2.1	1.5	1.4
TiO <sub>2</sub>	1.6	2.1	2.0	1.9
CaO	0.2	0.3	0.3	0.4
MgO	0.6	0.3	0.3	0.4
Alcalis	0.7	0.4	0.5	0.6
Cono Pirométrico Equivalente (PCE)	31 1/2	32 1/2	34	34
Temperatura equivalente, ICONTEC -706, ASTM C-24	°C 1699	1724	1763	1763
Porosidad aparente, ICONTEC -674, ASTM C-20	% 21.0-25.0	22.0-26.0	20.0-24.0	16.0-20.0
Densidad aparente, ICONTEC -674, ASTM C-20	g/cc 2.05-2.15	2.03-2.13	2.13-2.23	2.16-2.26
Resistencia a la compresión en frío ICONTEC -682, ASTM C-133	kg/cm <sup>2</sup> 200-300	170-250	250-370	350-500
Módulo de ruptura en frío ICONTEC -682, ASTM C-133	kg/cm <sup>2</sup> 70-130	60-120	75-135	120-180
Cambio lineal permanente ICONTEC -688, ASTM C-113	% 0.2C-0.2E °C 1400	0.0-0.2C 1400	0.5C-2.0C 1600	0.5C-1.5C 1600
Deformación bajo carga en caliente ICONTEC -1107, ASTM C-16	% 0.5-1.0 °C 1350	0.1-0.7 1350	2.0-3.5 1450	1.0-2.0 1450

Los datos anteriores se basan en los resultados promedios de las pruebas de control sobre lotes de producción industrial de ladrillos normales prensados de 9" utilizando los procedimientos descritos en las normas ICONTEC y ASTM donde ellas sean aplicables y no deben emplearse para efecto de especificaciones garantizadas. Pueden presentarse variaciones de los resultados dependiendo del tamaño, forma o proceso de fabricación.

C=Contracción  
E=Expansión

**ERECOS**

## ANEXO 2

### Tipos de morteros Refractarios

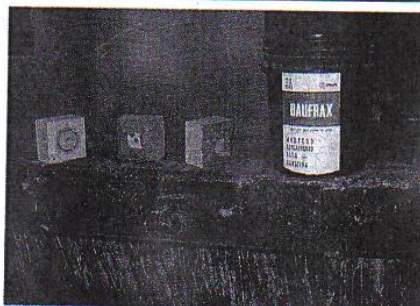
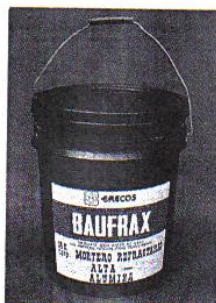


## ESPECIALIDADES REFRACTARIAS

Bajo esta denominación se agrupan los refractarios no conformados, empleados en la construcción de revestimientos monolíticos, vaciado de piezas de gran tamaño, reparaciones y para pegar los ladrillos.

ERECOS fabrica los siguientes tipos de especialidades refractarias :

- Morteros de fraguado al aire, de fraguado térmico y de liga química
- Mortero antiácido
- Concretos densos y aislantes
- Concretos de bajo cemento
- Plásticos y masas para apisonar
- Revestimiento aislante antiácido
- Cemento aislante de acabado



## MORTEROS REFRACTARIOS

Utilizados para pegar ladrillos entre sí y rellenar las juntas entre ellos.

Están constituidos por una mezcla de áridos refractarios finamente molidos, de arcillas plásticas, aditivos y ligantes especiales.

Un mortero refractario, además de proporcionar estabilidad a la mampostería, debe prevenir la penetración y ser resistente al ataque de escorias, líquidos o gases corrosivos. El mortero refractario se debe seleccionar tan cuidadosamente como el ladrillo con el cual va a ser usado y debe ser compatible con la composición química del ladrillo.

Según el tipo de fraguado y su presentación, los morteros se clasifican en:

- Secos de fraguado térmico
- Húmedos de fraguado al aire
- Húmedos de liga química

## MORTEROS REFRACTARIOS SILICO-ALUMINOSOS

### **REPEL X**

Mortero refractario silico-aluminoso, húmedo, de fraguado al aire. Se recomienda para mamposterías de ladrillos aislantes UA-20, UA-23 y UA-26.

### **UNIVERSAL**

Mortero refractario silico-aluminoso, seco, de fraguado térmico. Se recomienda para mamposterías de ladrillos U-30, U-32, U-33 y ER-40.

### **SUPER AEROFRAX**

Mortero refractario silico-aluminoso, húmedo, de fraguado al aire. Se recomienda para mamposterías de ladrillos U-30, U-32, U-33, ER-40, ALUM-50, AQ-45M y AQ-45K.

## MORTEROS REFRACTARIOS DE ALTA ALUMINA

### **BAUFRAX**

Mortero refractario húmedo, de fraguado al aire y de alta alúmina. Se recomienda para mamposterías de ladrillos ALUM-50, BAUXAL-60 y aislante UA-28.

### **ALUFRAX 68**

Mortero refractario húmedo, de fraguado al aire y de alta alúmina. Se recomienda para mamposterías de ladrillos BAUXAL-60, BAUXAL-70 y BAUXAL-80.

### **AL-65**

Mortero refractario seco, de fraguado térmico y de alta alúmina. Se recomienda para mamposterías de ladrillos ALUM-50, BAUXAL-60, BAUXAL-70 y BAUXAL-80.

### **ALUFRAX 80LF**

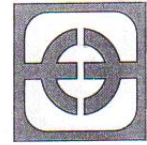
Mortero refractario, de liga fosfática y de alta alúmina. Desarrolla completamente su liga química a 500 °C. De buena resistencia a la penetración, a la erosión y a la corrosión por metales ferrosos y no ferrosos. Se recomienda para mamposterías de ladrillos BAUXAL -70A, BAUXAL -80A, BAUXAL-80 y BAUXAL-85.

El mortero ALUFRAX 80LF se suministra en dos (2) componentes (polvo y líquido) para ser mezclados antes de su uso.

### **PREPARACION DEL ALUFRAX 80LF**

En un recipiente limpio (preferible de plástico) se agrega todo el líquido. Lentamente se agrega el polvo agitando constantemente; una vez se incorpore todo el polvo se mezcla durante 7 minutos. De esta forma se obtiene una colada sin grumos y de consistencia uniforme para aplicar con palustre. Se recomienda preparar sólo la cantidad de mortero necesario, ya que este se endurece con el aire; el mortero sobrante preparado, se debe guardar en un recipiente plástico hermético.

**PRECAUCIONES :** El operario debe emplear guantes de plástico o caucho para evitar el contacto de la mezcla con la piel.



## MORTEROS REFRACTARIOS SILICO-ALUMINOSOS PROPIEDADES TÍPICAS

MARCA	REPEL X	UNIVERSAL	SUPER-AEROFRAX
Clasificación ICONTEC -765 y -851	Altamente Refractario	Super Refractario	Super Refractario
Tipo de Mortero	Húmedo de fraguado al aire	Seco de fraguado térmico	Húmedo de fraguado al aire
Análisis Químico	%		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40.0	41.5	43.0
SiO <sub>2</sub>	53.5	52.5	50.3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.6	2.0	1.8
TiO <sub>2</sub>	2.0	2.4	2.1
CaO	0.2	0.4	0.2
MgO	0.3	0.4	0.3
Alcalis	2.0	0.5	2.0
Cono Pírométrico Equivalente (PCE)	32	32	32 1/2
Temperatura equivalente, ICONTEC -706, ASTM C-24	1717	1717	1724
Refractariedad (el mortero no fluye de la junta a ) ICONTEC -861, ASTM C-199	1500	1600	1600
Máximo tamaño de grano	mm		
	1.0	0.6	0.6
Agua de preparación, ml/Kg mortero para aplicar con palustre para aplicar por inmersión	(*) N.A	360 500	(*) 60
Kg de mortero requerido para pegar 1000 ladrillos de 9" x 4 1/2" x 2 1/2" con palustre por inmersión	190 N.A	129 81	180 160
Presentación	tambores 35 kg.	sacos 30 kg.	tambores 35kg.

N.A: No se debe aplicar por inmersión.

(\*): Mortero húmedo para aplicar tal como se entrega.

Los datos anteriores se basan en los resultados promedios de las pruebas de control sobre lotes de producción industrial, utilizando los procedimientos descritos en las normas ICONTEC y ASTM donde ellas sean aplicables y no deben emplearse para efectos de especificaciones garantizadas.

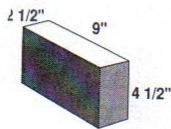


## ANEXO 3

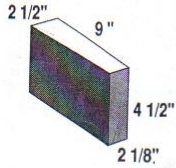
### Formas normales de ladrillos refractarios



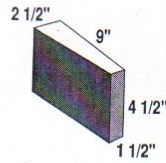
#### FORMAS NORMALES SERIE 9 x 4 1/2 x 2 1/2" (229 x 114 x 64 mm.)



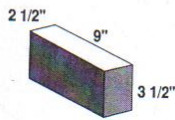
**RECTO**  
9 x 4 1/2 x 2 1/2"  
229 x 114 x 64 mm.  
EQUIVALENTE = 1



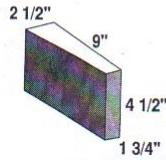
**ARCO Nro. 1**  
9 x 4 1/2 x (2 1/2 - 2 1/8")  
229 x 114 x (64 - 54) mm.  
EQUIVALENTE = 0.93



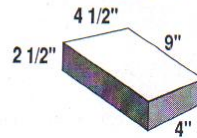
**CUÑA Nro. 2**  
9 x 4 1/2 x (2 1/2" - 1 1/2")  
229 x 114 x (64-38) mm.  
EQUIVALENTE = 0.80



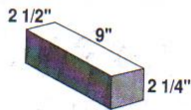
**RECTO PEQUEÑO**  
9 x 3 1/2 x 2 1/2"  
229 x 89 x 64 mm.  
EQUIVALENTE = 0.78



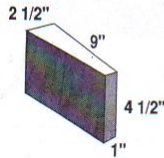
**ARCO Nro. 2**  
9 x 4 1/2 x (2 1/2" - 1 3/4")  
229 x 114 x (64 - 45) mm.  
EQUIVALENTE = 0.85



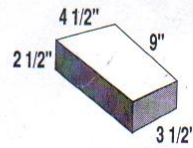
**LLAVE Nro. 1**  
9 x (4 1/2 - 4) x 2 1/2"  
229 x (114 x 102) x 64 mm.  
EQUIVALENTE = 0.94



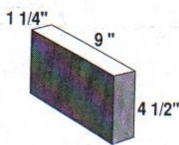
**JABON**  
9 x 2 1/4 x 2 1/2"  
229 x 57 x 64 mm.  
EQUIVALENTE = 0.50



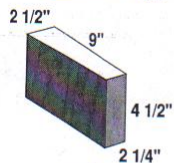
**ARCO Nro. 3**  
9 x 4 1/2" x (2 1/2" - 1")  
229 x 114 x (64 - 25) mm.  
EQUIVALENTE = 0.70



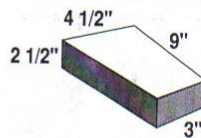
**LLAVE Nro. 2**  
9 x (4 1/2 - 3 1/2) x 2 1/2"  
229 x (114 x 89) x 64 mm.  
EQUIVALENTE = 0.89



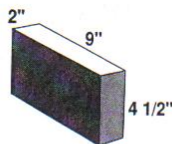
**TABLETA**  
9 x 4 1/2 x 1 1/4"  
229 x 114 x 32 mm.  
EQUIVALENTE = 0.50



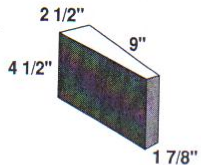
**CUÑA 1X**  
9 x 4 1/2 x (2 1/2" - 2 1/4")  
229 x 114 x (64-57) mm.  
EQUIVALENTE = 0.95



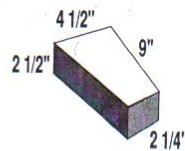
**LLAVE Nro. 3**  
9 x (4 1/2 - 3) x 2 1/2"  
229 x (114 x 76) x 64 mm.  
EQUIVALENTE = 0.83



**TABLETA - 2"**  
9 x 4 1/2 x 2"  
229 x 114 x 51 mm.  
EQUIVALENTE = 0.80



**CUÑA Nro. 1**  
9 x 4 1/2 x (2 1/2" - 1 7/8")  
229 x 114 x (64-48) mm.  
EQUIVALENTE = 0.88



**LLAVE Nro. 4**  
9 x (4 1/2 - 2 1/4) x 2 1/2"  
229 x (114 x 57) x 64 mm.  
EQUIVALENTE = 0.75

## ANEXO 4

## Características de la Manta cerámica

**GJ** ERDIPAC  
Industrial  
eirl



### Fibra Cerámica (Silicato de Aluminio)

Producto Aislante Importado  
Procedencia: ASIA  
Marca: ISOLITE  
Presentación: Mantas flexibles

<b>Características</b>	Manta Flexible No combustible Puede resistir temperaturas hasta 2300 °F (1260 °C) Baja densidad y baja conductividad térmica Corto periodo de calentamiento y enfriamiento Resistencia al choque térmico Flexible, fácil de cortar e instalar Posee propiedades acústicas No contiene elementos orgánicos Libre de Asbesto		
<b>Aplicaciones / Usos</b>	Instalación complementaria al refractario Exposición directa para calentamiento como la cara caliente de un horno. Sello de juntas de expansión Protección contra fuego Aislamiento de alta temperatura.		
<b>Clasificación de Temperatura</b>	1260°C (2300° F)		
<b>Punto de fusión</b>	1760°C (3200° F)		
<b>Diámetro de fibra</b>	2.8 micras		
<b>Longitud de fibra</b>	Promedio: 100 mm Máximo: 250 mm		
<b>Límite de resistencia a la tracción</b>	5 kgf (49N)/25 x 25 milímetros de 128 kilogramo/m3 en 25 milímetros de grueso		
		<b>Especificación</b>	<b>Promedio</b>
<b>Densidad</b>	Kg/m <sup>3</sup>	150~195	160
		115~150	128
		85~115	96
		58~85	64
<b>Contracción lineal 1100°C x 8 horas</b>	%	≤ 3	1.8
<b>Contenido de residuos (Shot content) &gt; 212micras</b>	%	≤ 25	18

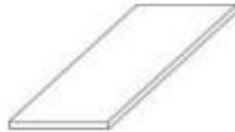
		Especificación		Promedio		
Conductividad térmica Kcal/mh °C (W/mK)	ASTM C201					
160kg/m <sup>3</sup>	300°C	≤ 0.077 (0.089)		0.062 (0.072)		
	450°C	≤ 0.11 (0.12)		0.088 (0.10)		
	600°C	≤ 0.15 (0.18)		0.12 (0.14)		
128 kg/m <sup>3</sup>	300°C	≤ 0.080 (0.092)		0.065 (0.076)		
	450°C	≤ 0.11 (0.13)		0.096 (0.11)		
	600°C	≤ 0.16 (0.19)		0.13 (0.15)		
96 kg/m <sup>3</sup>	300°C	≤ 0.086 (0.099)		0.076 (0.088)		
	450°C	≤ 0.12 (0.14)		0.11 (0.13)		
	600°C	≤ 0.17 (0.20)		0.15 (0.18)		
64 kg/m <sup>3</sup>	300°C	≤ 0.095 (0.11)		0.085 (0.099)		
	450°C	≤ 0.14 (0.16)		0.13 (0.15)		
	600°C	≤ 0.20 (0.23)		0.18 (0.21)		
Composición química %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	≥ 45		47.1		
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + SiO <sub>2</sub>	≥ 98		99.4		
Tamaño disponible	7200 x 600mm	Espesores	6 mm	12.5 mm	25 mm	
	3600 x 600 mm	Espesores	50 mm			
	1200 x 600 mm	Espesores	6 mm	12.5 mm	25 mm	50 mm

## ANEXO 5

### Especificaciones de plancha de acero



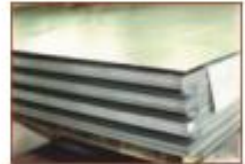
#### Plancha de Acero: Laminado en Caliente



#### ■ ESPECIFICACIONES GENERALES

Laminado en caliente:

ASTM A 570 Gr 36  
 ASTM A 36  
 ASTM A 283 Gr C  
 ASTM A 588 Gr A  
 ASTM A 131 Gr A  
 ASTM A 516 Gr 70



#### ■ NORMA INTERNA

Esesor: 2 mm - 75 mm  
 (laminado en caliente)  
 Descuadre: 1.50 x e  
 Longitud: - 0 mm  
 + 10.00 mm  
 Ondulamiento: 10.00 mm de amplitud  
 máxima

#### ■ APLICACIONES

- Conformación de estructuras en general con elementos de alma llena (flejes)
- Fabricación de tanques
- Estructuras de puentes
- Estructuras de barcos
- Camisas de pilotes
- Encofrados
- Placas
- Contención de tierras
- Plataformas
- Calderos
- Tubería de grandes diámetros

#### ■ PROPIEDADES MECÁNICAS

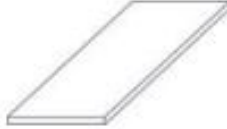
Calidad	Fy	Fu (min-max)	Elong.
	N/mm2	N/mm2	8plg / 2 plg
A-570 Gr. 36	250	400 + 550	20 / 21
A-36	250	400 + 550	20 / 21
A-283 Gr. C	205	380 + 515	22 / 25
A-131 Gr. A	235	400 + 490	21 / 24
A-588 Gr. A	345	485 + 580	18 / 21
A-516 Gr. 70	260	485 + 620	17 / 21

#### ■ PROPIEDADES QUÍMICAS

Calidad	C	Mang.	Phosp	Sulfur	Silicon	Copper
	max.	max.	max.	max.	max.	min.
A-570 Gr. 36	0.25	0.80 + 1.20	0.04	0.05	0.4	0.02
A-36	0.25	0.80 + 1.20	0.04	0.05	0.4	0.02
A-283 Gr. C	0.24	0.9	0.04	0.04	0.15 + 0.40	0.02
A-131 Gr. A	0.23	0.80 + 1.10	0.04	0.04		
A-588 Gr. A	0.19	0.80 + 1.25	0.04	0.05	0.30 + 0.65	0.25 + 0.40
A-516 Gr. 70	0.27	0.85 + 1.20	0.04	0.04	0.15 + 0.40	

#### ■ TABLA DE PESOS APROXIMADOS

ESPESOR	PLANCHAS (Kg)
mm	1,220 x 2,440 mm
2.00	46.74
3.00	70.10
4.00	93.47
5.00	116.84
6.00	140.21
8.00	186.94
10.00	233.68



### ESPECIFICACIONES GENERALES

Laminado en frío: ASTM A 366 Tipo B  
JIS G 3141 SPCC - SD  
SAE 1010

Observaciones: Otras dimensiones previa consulta



### NORMA INTERNA

**Espesor:** 0.35 mm - 2.00 mm  
**Longitud:** - 0 mm  
               + 3 mm  
**Descuadre:**  $1,50 \times \text{diagonal nominal} > \text{diagonal mayor} - \text{diagonal menor}$   
                   1000  
**Ondulamiento:** 10 mm de amplitud máxima

### APLICACIONES

- Muebles metálicos en general
- Puertas metálicas
- Carpintería metálica
- Tanque para almacenamiento de aceite
- Tanques de exportación de frutas
- Baldes para camionetas
- Partes y piezas metálicas (abrazaderas, de línea blanca, etc)
- Rótulos
- Señalización de tránsito
- Cajas fúnebres
- Autopartes

### TABLA DE PESOS APROXIMADOS

ESPESOR	PESO APROX. POR PLANCHAS (Kg)	
	1,220 x 2,440 mm	1,000 x 2,000 mm
0.40	9.35	6.28
0.45	10.52	7.07
0.50	11.68	7.85
0.55	12.85	8.64
0.60	14.02	9.42
0.70	16.36	10.99
0.75	17.53	11.78
0.90	21.03	14.13
1.10	25.70	17.27
1.40	32.72	21.98

# ANEXO 6

## Catalogo del Acero AISI 01 (Df2) de la fabrica Arne

COLD WORK	PLASTIC MOULDING	HOT WORK	HIGH PERFORMANCE STEEL
-----------	------------------	----------	------------------------

Typical analysis %	C 2.05	Mn 0.8	Cr 4.5	W 0.2
Standard specification	AISI D6, ( )	D3) (W.Nr. 1.2796)		
Delivery condition	Soft annealed	to approx. 200 HB		
Colour code	Red	Colour code		

Temperature	20°C (68°F)	200°C (390°F)	400°C (750°F)
Density kg/m <sup>3</sup> lbs/m <sup>3</sup>	7 770 0,281	7 700 0,277	7 650 0,275
Modulus of elasticity N/mm <sup>2</sup> psi	194 000 28,1 × 10 <sup>6</sup>	188 000 27,3 × 10 <sup>6</sup>	173 000 25,1 × 10 <sup>6</sup>
Coefficient of thermal expansion per °C from 20°C per °F from 68°F	to 100°C 11,7 × 10 <sup>-6</sup> to 212°F 6,5 × 10 <sup>-6</sup>	to 200°C 12 × 10 <sup>-6</sup> to 400°F 6,7 × 10 <sup>-6</sup>	to 400°C 13,0 × 10 <sup>-6</sup> to 750°F 7,3 × 10 <sup>-6</sup>
Thermal conductivity W/m °C Btu in (ft <sup>2</sup> h°F)	- -	27 187	32 221
Specific heat K/kg °C Btu/lbs °F	455 0,109	525 0,126	608 0,145

Temperature	20°C (68°F)	200°C (390°F)	400°C (750°F)
Density kg/m <sup>3</sup> lbs/m <sup>3</sup>	7 770 0,281	7 700 0,277	7 650 0,275
Modulus of elasticity N/mm <sup>2</sup> psi	194 000 28,1 × 10 <sup>6</sup>	189 000 27,4 × 10 <sup>6</sup>	173 000 25,1 × 10 <sup>6</sup>
Coefficient of thermal expansion per °C from 20°C per °F from 68°F	to 100°C 12,3 × 10 <sup>-6</sup> to 212°F 6,1 × 10 <sup>-6</sup>	to 200°C 14 × 10 <sup>-6</sup> to 400°F 6,7 × 10 <sup>-6</sup>	to 400°C 15,1 × 10 <sup>-6</sup> to 750°F 7,3 × 10 <sup>-6</sup>
Thermal conductivity W/m °C Btu in (ft <sup>2</sup> h°F)	- -	20,5 142	21,5 149
Specific heat K/kg °C Btu/lbs °F	460 0,110	- -	- -

## Información general

Arne es un acero al manganeso-cromo-tungsteno templable en aceite y muy versátil, para uso general. Es apto para una gran variedad de aplicaciones de trabajo en frío. Entre sus principales características se cuentan:

- Buena mecanibilidad
- Buena estabilidad dimensional en el temple
- Una buena combinación de gran dureza superficial y tenacidad tras el temple y revenido.

Unidas, estas características reportan un acero apropiado para la fabricación de herramientas de gran longevidad y alta rentabilidad en la producción.

Arne puede suministrarse en varios acabados, incluyendo el laminado en caliente, pre-mecanizado, mecanizado fino y rectificado de precisión. También puede obtenerse en forma de barras huecas y anillos.

Análisis típico %	C 0,95	Mn 1,1	Cr 0,6	W 0,6	V 0,1
Normas equivalentes	UNE F-5220, W.-Nr.1.2510, AISI O1 (SS 2140)				
Estado de suministro	Recocido blando aprox. 190 HB				
Código de color	Amarillo				

## Aplicaciones

Herramientas para	Espesor del material	HRC
<b>Corte</b> Cizallado, punzonado, troquelado, desbarbado, tronzado	hasta 3 mm 3- 6 mm 6-10 mm	60-62 56-60 54-56
Cizallas cortas para trabajar en frío		54-60
Herramientas de tronzado y desbarbado para piezas de forja	caliente frío	58-60 56-58
<b>Conformado</b> Doblar, acuñar, embutición profunda, repujado y conformado por estirado		56-62
Troqueles de acuñar en frío pequeños		56-60
Puntos de torno Manguitos guía, expulsos, brocas y machos de roscar de tamaño pequeño y mediano Levas, boquillas, pistones y ruedas dentadas pequeñas		58-62

## Propiedades

### CARACTERISTICAS FISICAS

Templado y revenido a 62 HRC.

Características a la temperatura ambiental y temperaturas elevadas.

Temperatura	20°C	200°C	400°C
Densidad kg/m <sup>3</sup>	7 800	7 750	7 700
Módulo de elasticidad N/mm <sup>2</sup> kp/mm <sup>2</sup>	190 000 19 500	185 000 19 000	170 000 17 500
Coefficiente de dilatación térmica por °C a partir de 20°C	-	11,7 x 10 <sup>-6</sup>	11,4 x 10 <sup>-6</sup>
Conductibilidad térmica W/m °C	32	33	34
Calor específico J/kg °C	460	-	-

### RESISTENCIA A LA COMPRESION

Valores aproximados.

Dureza HRC	Resistencia a la compresión	
	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	R <sub>c0,2</sub> N/mm <sup>2</sup>
62	3000	2200
60	2700	2150
55	2200	1800
50	1700	1350





## Tratamiento térmico

### RECOCIDO BLANDO

Proteger el acero y calentarlo en toda su masa a 780°C. Luego enfriarlo en el horno 15°C por hora hasta 650°C y por último libremente en el aire.

### ELIMINACION DE TENSIONES — ESTABILIZADO

Después del desbastado en máquina, debe calentarse la herramienta en toda su masa a 650°C, tiempo de mantenimiento 2 horas. Enfriar lentamente hasta 500°C y después libremente al aire.

### TEMPLE

Temperatura de precalentamiento: 600–700°C

Temperatura de austenización: 790–850°C

Temperatura °C	Tiempo de mantenimiento* minutos	Dureza antes del revenido HRC
800	30	aprox. 65
825	20	aprox. 65
850	15	aprox. 63

\* Tiempo de mantenimiento = tiempo a la temperatura de temple después de que la herramienta está plenamente calentada en toda su masa.

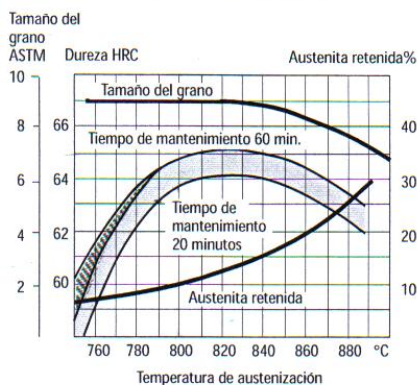
Proteger la herramienta contra decarburación y oxidación durante el proceso de temple.

### AGENTES DE ENFRIAMIENTO

- Aceite
- Temple escalonado martensítico a 180–225°C, después, enfriar al aire.

Nota: Revenir inmediatamente que la herramienta alcance 50–70°C.

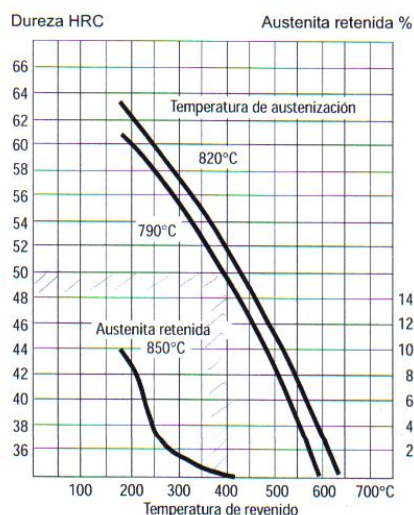
Dureza, tamaño del grano y austenita retenida, en función de la temperatura de austenización.



### REVENIDO

Elegir la temperatura de acuerdo con la dureza requerida según el gráfico de revenido. Revenir dos veces con enfriamiento intermedio a la temperatura ambiental. Mínima temperatura de revenido 180°C. Tiempo mínimo de mantenimiento de temperatura, 2 horas.

Gráfico de revenido



### TEMPLE ESCALONADO MARTENSITICO

Las herramientas se sumergen en el baño de temple a la temperatura de austenización durante el tiempo indicado, enfriándose luego en aire hasta una temperatura no inferior a 100°C. Revenir inmediatamente al igual que al templar en aceite.

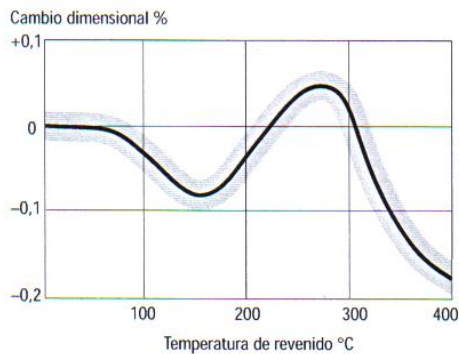
Temperatura de austenización °C	Temperatura del baño de temple °C	Tiempo en el baño de temple minutos	Dureza superficial antes del revenido*
825	225	máx. 5	64±2 HRC
825	200	máx. 10	63±2 HRC
825	180	máx. 20	62±2 HRC
850	225	máx. 10	62±2 HRC

\* Obtenida mediante temple escalonado martensítico.

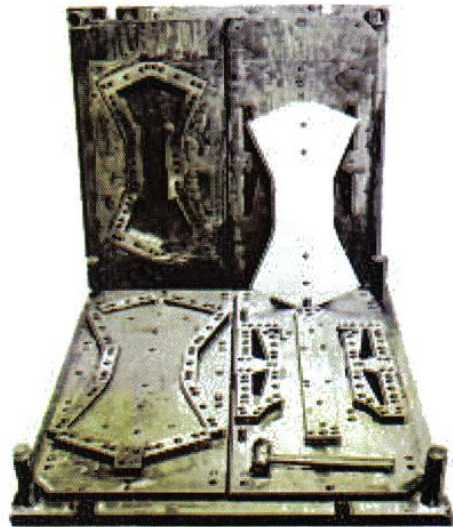
### CAMBIOS DIMENSIONALES DURANTE EL TEMPLE

Plancha de muestra, 100 x 100 x 25 mm

		Ancho %	Longitud %	Espesor %
Temple en aceite desde 830°C	min.	+0,03	+0,04	-
	máx.	+0,10	+0,10	+0,02
Temple escalonado martensítico desde 830°C	min.	+0,04	+0,06	-
	máx.	+0,12	+0,12	+0,02



Nota: Hay que sumar los cambios dimensionales experimentados en el temple y revenido. Tolerancia recomendada 0,25%.



Herramienta de troquelar fabricada en acero Arne mecanizado de precisión.

### TRATAMIENTO SUB-CERO Y ENVEJECIMIENTO

Las piezas que requieran una estabilidad dimensional máxima deberán someterse a tratamiento sub-cero y/o envejecimiento artificial, para que con el tiempo no experimenten cambios en el volumen. Esto se aplica, por ejemplo, a las herramientas de medición y ciertas piezas de construcción.

#### Tratamiento sub-cero

Inmediatamente después del temple la pieza se enfriará entre  $-70$  y  $-80^{\circ}\text{C}$  durante un tiempo de 3–4 horas, seguido de revenido o envejecimiento. El tratamiento sub-cero confiere un aumento de dureza de 1–3 HRC. Evitar las formas complicadas debido al riesgo de formación de grietas.

#### Envejecimiento

El revenido después del temple se sustituirá por envejecimiento a  $110$ – $140^{\circ}\text{C}$  durante 25–100 horas.

## ANEXO 7

### Tipos de termocuplas

Tabla 3. Tolerancias de calibración para termocuplas estándar ( referencia junta fría 0° C ) según IEC 584 Parte 1 .

<b>Termocupla</b>	<b>Rango</b>	<b>Clase 1 . Desviación máxima (±) (1)</b>
Cobre vs. Cobre-níquel, Tipo T	-40 a + 350°C	0,5 °C ó 0,004 (t)
Hierro vs. cobre- níquel, Tipo J	-40a+ 750 °C	1,5 °C ó 0,004 (t)
Níquel-cromo vs. níquel, Tipo K	- 40 a 1.000 °C	1,5 °C ó 0,004 (t)
Platino-rodio 13% vs. platino, Tipo R .	0 a + 1.600°C	1 °C ó 1 + 0,003 (t - 1. 100)°C
Platino-rodio 10% vs. platino, Tipo S	0 a + 1. 600°C	1 °C ó 1 + 0,003 ( t - 1.100)°C
Platino-rodio 30% vs. platino-rodio 6%, Tipo B	--	--
<b>Termocupla</b>	<b>Rango</b>	<b>Clase 2 . Desviación máxima (±) (1)</b>
Cobre vs. cobre-níquel, Tipo T	-40a+ 350°C	1°C ó 0,0075(t)
Hierro vs. cobre- níquel, Tipo J	-40a+ 750 °C	2,5 °C ó 0,0075 (t)
Níquel-cromo vs. níquel, Tipo K	- 40 a + 1.200°C	2. 5 °C ó 0.0075 (t)
Platino-rodio 13% vs. platino, Tipo R	0 a + 1.600 °C	1,5 °C ó 0,0025 (t)
Platino- rodio 10% vs. platino, Tipo S	0 a + 1.600 °C	1,5 °C ó 0,0025 (t)
Platino- rodio 30% vs. platino-rodio 6%, Tipo B	+ 600 a + 1700 °C	1,5 °C ó 0,0025 (t)
<b>Termocupla</b>	<b>Rango</b>	<b>Clase 3(2) . Desviación máxima (±) (1)</b>
Cobre vs. Cobre-níquel, Tipo T	-200 a + 40 °C	1 °C ó 0,015 (t)
Hierro vs. cobre- níquel, Tipo J	-200 a + 40 °C	2,5 °C ó 0,015 (t)
Níquel-cromo vs. níquel, Tipo K	-200 a + 40 °C	2,5 °C ó 0,015 (t)
Platino-rodio 13% vs. platino, Tipo R	--	--
Platino-rodio 10% vs. platino, Tipo S	--	--
Platino-rodio 30% vs. platino-rodio 6%, Tipo B	+600 a + 1.700 °C	4 °C ó 0,005 (t)

(1) La desviación máxima debe ser calculada como el mayor valor de las dos expresiones: el valor en °C o su equivalente calculado reemplazando (t) por la temperatura en cuestión.

(2) Normalmente, las termocuplas y los cables compensados se suministran con tolerancias especificadas por encima de -40 °C. Para termocuplas utilizadas por debajo de -40 °C . debe entenderse que sus tolerancias son para ese material mayores que las especificadas en Clase 3.

## ANEXO 8

### Características principales de las aleaciones empleadas como materiales conductores

Aleación	Densidad en g/cm <sup>3</sup>	Temperatura de fusión en °C	Límite de resistencia a la ruptura en Kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia específica en Ω.mm <sup>2</sup> /m	Coefficiente térmico 1/°C	Termo-f.e.m. de la aleación conjuntamente con cobre en μV/°C	Temperatura máxima de calentamiento en °C
Constantán	8,7-8,9	1.200-1.275	40-55 65-70	0,45-0,48 0,46-0,52	5x10 <sup>-6</sup>	39-62	450-500
Manganina	8,14-8,4	920-960	45-55 60-70	0,42-0,48 0,43-0,5	(3-6) x10 <sup>-5</sup>	0,9-1,0	250-300
Plata alemana	8,8-8,5	1.030	35-40 45-53 55-60	0,30-0,35 0,40-0,45	(28-30) x10 <sup>-5</sup>	14-16	200-250
Nicromo (aleación con 15% de cromo y 60% de níquel)	8,2-8,25	1.880-1.890	55-65	1,02-1,18	0,17x10 <sup>-3</sup>	-----	1.000
Nicromo (aleación con 20% de cromo y 30 de níquel)	8,4	1.400	60-70	1,02-1,27	0,15x10 <sup>-5</sup>	-----	1.050

**Principales características de aleaciones de alta resistividad.**

## ANEXO 9

### Propiedades termofísicas de sólidos metálicos

**TABLA A.1** Propiedades termofísicas de sólidos metálicos seleccionados\*

Composición	Punto de fusión (K)	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K)										
		ρ (kg/m <sup>3</sup> )	c <sub>p</sub> (J/kg · K)	k (W/m · K)	α · 10 <sup>6</sup> (m <sup>2</sup> /s)	k (W/m · K)/c <sub>p</sub> (J/kg · K)										
						100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	
Acero puro	1810	7870	447	80.2	23.1	134	94.0	69.5	54.7	43.3	32.8	28.3	32.1			
Aceros al carbono						216	384	490	574	680	975	609	654			
Carbón ordinario (Mn ≤ 1%, Si ≤ 0.1%) AISI 1010		7854	434	60.5	17.7			56.7	48.0	39.2	30.0					
Carbón-silicio (Mn ≤ 1%, 0.1% < Si ≤ 0.6%) Carbón-manganeso-silicio (1% < Mn ≤ 1.65%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		7832	434	63.9	18.8			48.7	55.9	685	1169					
Aceros con cromo (bajo) 1 Cr-1 Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si) 1 Cr-1 Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si) 1 Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)		7817	446	51.9	14.9			49.8	44.0	37.4	29.3					
		8131	434	41.0	11.6			50.1	58.2	69.9	97.1					
		7822	444	37.7	10.9			42.2	39.7	35.0	27.6					
		7858	442	42.3	12.2			48.7	55.9	685	1090					
		7836	443	48.9	14.1			49.2	57.5	688	969					
Aceros inoxidables																
AISI 302		8055	480	15.1	3.91			42.2	39.7	35.0	27.6					
AISI 304	1670	7900	477	14.9	3.95	9.2	12.6	51.2	55.9	585	606					
AISI 316		8238	468	13.4	3.48	27.2	40.2	16.6	19.8	22.6	25.4	28.0	31.7			
AISI 347		7978	480	14.2	3.71			15.2	18.3	21.3	24.2					
								50.4	55.0	57.6	60.2					
								15.8	18.9	21.9	24.7					
								51.3	55.9	585	606					

## ANEXO 10

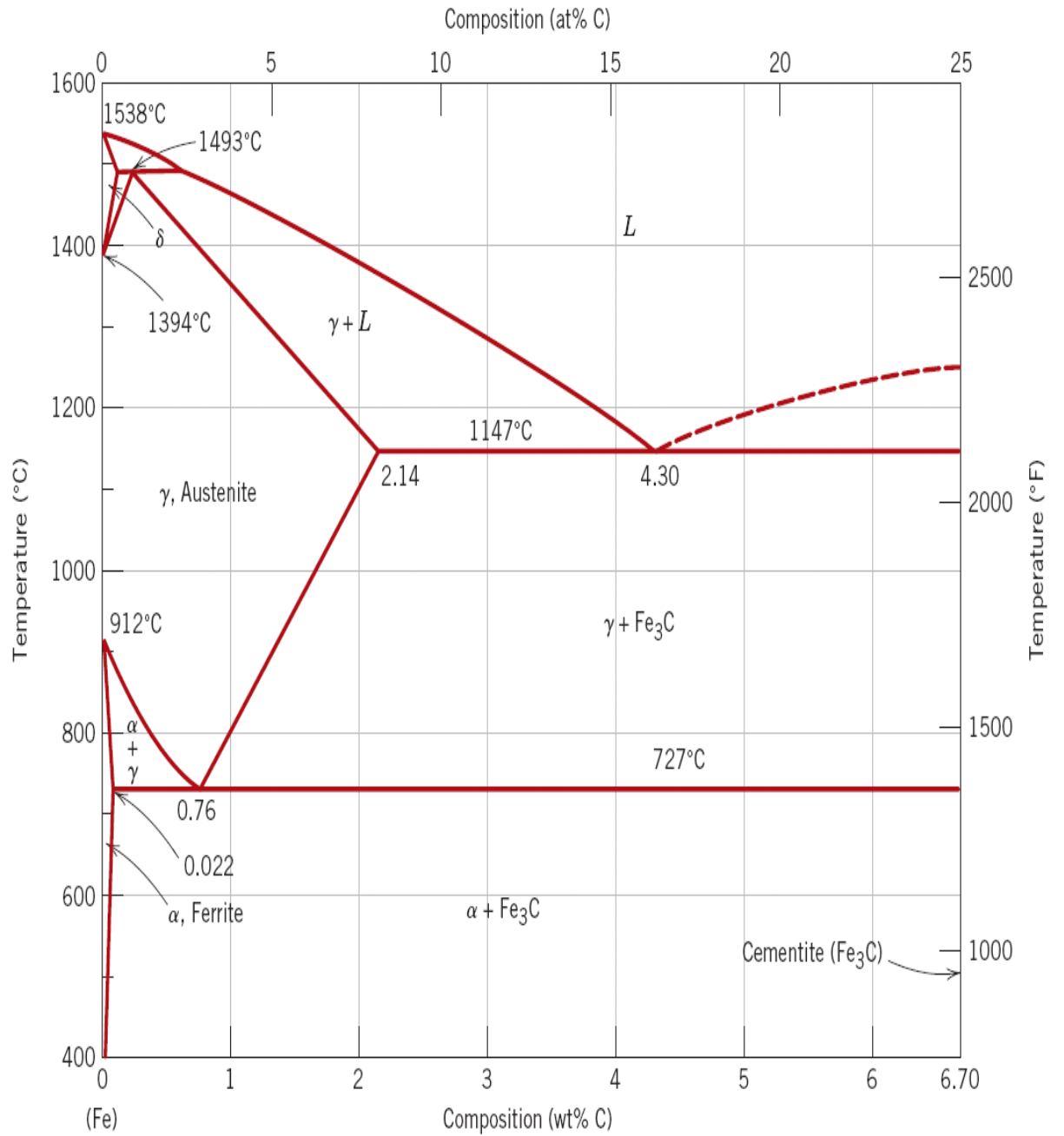
### Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica

**TABLA A.4** Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica\*

$T$ (K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m <sup>2</sup> )	$\nu \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$Pr$
Aire							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536

# ANEXO 11

## Diagrama Hierro-Carbono



## ANEXO 12

**Tabla de comparación entre dureza rockwell, brinell,  
brinell shore vickers y resistencia a la tracción**

HRC 150kg	Rockwell		Vickers HV kg/mm <sup>2</sup>	Dureza Brinell kg/mm <sup>2</sup>	Shore	Resistencia a la tracción kg/mm <sup>2</sup>	
	HR 62,5	HRA 60 kg				acero al carbono =0,36 HB	acero aleado =0,34 HB
67	84		900	775	106	267	264
66	-	83.9	870	752	101	275	256
65	83	83.4	840	735	99	284	249
64	-	82.8	815	710	96	255	241
63	82	82.3	790	690	93	248	235
62	-	81.8	760	670	91	240	228
61	81	81.2	730	652	88	234	221
60	-	80.7	700	635	85	227	214
59	80	80.2	690	620	83	220	208
58	-	79.6	670	600	80	215	205
57	79	79.1	650	580	78	210	196
56	-	78.6	630	571	75	205	194
55	78	78.1	610	555	73	200	188
54	-	77.5	590	540	72	195	184
53	77	77.0	575	530	71	186	180
52	-	76.5	560	515	69	178	175
51	76	76.0	540	500	68	174	170
50	-	75.4	525	487	67	170	165
49	75	74.9	510	475	65.5	165	160
48	-	74.4	490	462	64	161	156
47	74	73.8	480	447	62	157	152
46	-	73.3	465	436	60	153	148
45	73	72.8	450	424	59	149	144
44	72	72.3	440	413	57	145	141
43	-	71.7	425	408	55	141	137
42	-	71.2	415	398	54	137	133
41	-	70.7	400	382	53	134	130
40	70	70.2	390	377	52	131	127
39	-	69.7	380	369	50	127	125
38	69	69.1	370	353	49	125	120
37	-	68.6	360	345	48	122	118
36	68	68.1	350	339	47	119	115
35	-	67.6	345	331	46	116	113
34	67	67.0	330	323	45	114	110
33	-	66.5	320	316	45.5	111	108
32	-	66.0	315	310	44	109	105
31	65	65.6	310	305	43	107	103
30	-	65.0	305	299	42	103.5	100
29			295	290	41	101.5	98
28			285	282	40	99	96
27			280	276	39	96.5	93.5
26			270	268	38	94	91
25		HR b	265	262	37	92.5	89
24			260	257	36.5	90.5	87
23		100 kg	255	252	36	87.5	85.5
22			245	245	35.5	86.5	83
21		100	240	240	35	84.5	81.5
20		99	235	234	34	82.5	79.5
19		98	230	229	33.5	80.5	78
18		97	225	223	33	78.5	76
17		96	220	218	32	76.5	74
16		95	215	213	31	75	72.5
15		94	210	209	30.5	73.5	71
14		93.5	205	204	30	71.5	69.5
13		93	200	199	29.5	70	67.5
12		92	195	195	29	69	66
11		91	191	191	29	67.5	65
10		90	187.5	187	28.5	66	63.5
9		89.5	185	184	28	65	62
8		89	180	181	27.5	64	61.5
7		88	177.5	178	27		60.5

Estos factores de conversión representan el promedio de los ensayos de varios institutos con diferentes materiales y equipos de ensayo. Por lo cual no deben ser considerados más que como valores aproximados de comparación.

# ANEXO 13

## Manual de instrucciones controlador de temperatura OMRON

<p><b>E5CN</b> OMRON</p> <p><b>Controlador de temperatura</b></p> <p>Manual de instrucciones</p> <p>Gracias por haber adquirido el controlador de temperatura OMRON E5CN. Lea este manual con atención antes de usar el controlador y téngalo siempre a mano mientras el controlador está en uso.</p> <p>OMRON CORPORATION ©All Rights Reserved</p> <p>Para conocer detalles sobre las instrucciones de operación, refiérase al Manual del Usuario del E5CN. Significado de los términos ADVERTENCIA(s) y PRECAUCIÓN(es)</p> <p><b>PRECAUCIONES</b> Se refiere a la información que, de no prestarse la atención debida, podría causar heridas relativamente serias o menores, daños al producto o fallas en la operación.</p>	<p><b>PRECAUCIONES</b></p> <p>No toque los terminales cuando se aplica tensión. Riesgo de descarga eléctrica.</p> <p>No permita que dentro de este producto entren fragmentos metálicos ni trozos de conductores. Si lo hiciese, podrían producirse descargas eléctricas, incendios, o mal funcionamiento.</p> <p>No desmontar, reparar ni modificar nunca el producto. Si lo hiciese, podrían producirse descargas eléctricas, incendios, o mal funcionamiento.</p> <p>No utilizar este producto donde esté sujeto a gases explosivos o inflamables. Puede provocar explosión.</p> <p>La vida útil de salida varía considerablemente en función de la capacidad de su controlador y de las condiciones de funcionamiento. Asígneles de utilizar el nivel de salida en sobrecarga especificada y el tiempo de vida especificado. El nivel de salida podrá fundirse o quemarse si se utiliza después de su tiempo de vida especificado.</p> <p>Apretar los tornillos de terminal con un par de 0.74 a 0.90 Nm. Los tornillos flojos pueden provocar daños o mal funcionamiento.</p> <p>Realice en el controlador de temperatura los ajustes correctos de acuerdo con el objetivo de control. Si los ajustes no fueran compatibles con el objetivo de control, el producto podría funcionar de forma inesperada, lo que resultaría en daños del producto o en accidentes.</p> <p>Para mantener la seguridad en caso mal funcionamiento del controlador de temperatura, se aconseja que tome las medidas necesarias, por ejemplo, instalación de una alarma de aviso de aumento de la temperatura con una línea separada.</p> <p>Si el mal funcionamiento impide el control, podría producirse un accidente mayor.</p> <p><b>PRECAUCIONES PARA LA UTILIZACIÓN DEL PRODUCTO</b></p> <p>Cuando se utilice el producto en las siguientes circunstancias o condiciones, verifique que se cumplen las limitaciones de valores nominales y de funciones. Tomar también las medidas apropiadas para seguridad tales como instalaciones de seguridad contra fallos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Utilización en circunstancias o condiciones no descritas en este manual de instrucciones.</li> <li>Utilización para control de energía nuclear, aeronaves, aviones, vehículos, scooters, equipos de medicina, equipos de mantenimiento, dispositivos de seguridad, etc.</li> <li>Utilización en aplicaciones donde existe riesgo de muerte o de daños graves materiales y sean necesarias medidas de seguridad adicionales.</li> </ul>	<p><b>PROBLEMAS</b> <b>NOTA</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>No utilice este producto en los lugares:             <ul style="list-style-type: none"> <li>Expuestos al calor radiado por un equipo de calefacción.</li> <li>Lugares sometidos a soplos de líquidos o aceite.</li> <li>Sometidos a la luz solar directa.</li> <li>Sometidos al polvo o gases corrosivos (en especial, gas sulfuroso y amoníaco).</li> <li>Lugares sometidos a cambios bruscos de temperatura.</li> <li>Sometidos a congelamiento o condensación.</li> <li>Lugares sometidos a vibraciones o golpes.</li> </ul> </li> <li>Utilizar el producto dentro de los rangos de temperatura y humedad nominales. Aplicar refrigeración forzada si fuera necesario.</li> <li>Para permitir la disipación del calor, no bloquee el área alrededor del producto. No bloquee los agujeros de ventilación del producto.</li> <li>Verificar la polaridad cuando se efectúa el cableado.</li> <li>Para conectar los cables, utilice terminales de enganche del tamaño especificado (M3, 5, ancho 7.2 mm o menos).</li> <li>No cablear los terminales libres.</li> <li>Dejar tanto espacio como sea posible entre el controlador y dispositivos generadores de alta frecuencia o sobrecorriente. Separar las líneas de potencia de alta tensión o de elevado corriente del resto de líneas y cuando se cableen los terminales evitar el cableado en conductos paralelos o cercanos con líneas de potencia.</li> <li>Utilizar este producto dentro de las especificaciones de fuente de alimentación y de carga nominales.</li> <li>Verificar que el tensión nominal se obtiene en los 2 segundos siguientes después de conectar la alimentación.</li> <li>Verificar que el controlador tenga 30 minutos mínimo para calentamiento.</li> <li>Cuando se ejecute self-tuning, poner simultáneamente a ON la carga y el controlador, o poner a ON la carga antes que el controlador.</li> <li>Al lado de esta unidad se debería instalar un interruptor automático de fácil acceso para el operador, y debe marcarse como un medio de desconexión de esta unidad.</li> <li>Al entrar el controlador de la caja o colocarlo en ella, no toque ni golpee los terminales ni los componentes electrónicos internos. Verificar que los componentes electrónicos y la carcasa no hacen contacto cuando se insertan los circuitos internos.</li> <li>Limpieza. No utilizar disolventes de pinturas o similares. Utilice alcohol común para limpiar el producto.</li> </ol>	<p><b>Especificaciones</b></p> <p>Tensión de alimentación Tipo 100-240 V CA Tipo 24 V CA/CC</p> <p>Frecuencia operativa 50-60 Hz</p> <p>Rango de tensión operativa de 95 a 110% de la tensión nominal</p> <p>Consumo de energía 7VA (100-240V CA) 4VA (24V CA) 3W (24V CC)</p> <p>Entrada del sensor Termocopa, termómetro de resistencia de platino, entrada analógica, termopar infrarrojo E5XA</p> <p>Salida del control Relé tensión/Salida de corriente</p> <p>Vida útil mecánica del relé 10 millones de operaciones</p> <p>Vida útil eléctrica del relé 100,000 operaciones</p> <p>Método de control ON/OFF (ENCENDIDO/APAGADO) o PID avanzado</p> <p>Temperatura ambiente -10 a 55°C (50°C el congelamiento o la condensación)</p> <p>Humedad ambiental RH 25 a 85%</p> <p>Temperatura de conservación -25 a 65°C (50°C el congelamiento o la condensación)</p> <p>Altitud 2,000m máximo</p> <p>Fusible recomendado T2A, 250 V CA; retardo; capacidad de interrupción baja</p> <p>Peso Aproximadamente 50g (sin cables y la unidad principal)</p> <p>Medio de instalación Categoría de configuración II, grado de contaminación 2 (de acuerdo con IEC 61131-1)</p>
<p><b>Cableado</b></p>			
<p><b>Dimensiones</b></p> <p>Dimensiones (mm)</p> <p>En el envase • Unidad principal • Envase impermeable • Adaptador • Manual de instrucciones • Cubierta terminal (solo E5CN-D-500)</p> <p>Tamaño del terminal sin soldadura: M3.5 Cubierta del terminal: E5C-DV16</p> <p>* Para efectuar el mantenimiento, es posible extraer la unidad principal sin desconectar los cables terminales.</p>	<p><b>Instalación</b></p> <p>Instalación individual (mm)</p> <p>Instalación lado con lado (mm)</p> <p>No es posible la impermeabilización en el caso de la instalación lado con lado. Cuando sea necesaria la impermeabilización, ajuste el envase impermeable en la unidad principal.</p> <p>• Pasar el controlador a través del agujero de montaje en el panel (de 1 a 5 mm de grosor). • Deslizar el adaptador desde atrás hacia el panel de tal forma que no quede hueco entre el controlador, el panel y el adaptador. Por último asegurar el controlador con tornillos. • Cuando se instala más de una máquina, asegúrese de que la temperatura ambiente no excede el límite especificado.</p>	<p><b>Conexiones</b> (la apertura de los terminales eléctrico varía según el tipo de máquina)</p> <p>• Puesto que la salida de la tensión (salida del control) no está eléctricamente aislada de la red de suministro, se debe dejar uno o más de los terminales de salida del control de entrada cuando se utiliza un sensor de resistencia (termopar o termocopa) en la carga de resistencia.</p> <p>• Los terminales de entrada y salida de este dispositivo tienen un aislamiento básico. En los casos que se requiera un fuerte aislamiento, conecte los terminales de entrada y salida a dispositivos o fuentes de alimentación de tierra cargados que posean un dispositivo conductivo aislado para la tensión relativa de los terminales de entrada y salida.</p>	
<p><b>Nombres de los componentes del panel frontal</b></p>			
<p>• Tecla de nivel Utilice esta tecla para modificar los niveles.</p> <p>• Presione las teclas <math>\square</math> y <math>\square</math> al mismo tiempo durante 3 segundos como mínimo para cambiar al nivel de protección.</p> <p>• Tecla de visualización Presione esta tecla para modificar los contenidos de la pantalla.</p>	<p>• Pantalla N° 1 Símbolo de valor del proceso o de valores fijos</p> <p>• Pantalla N° 2 Punto de ajuste, valor de lectura de datos de ajuste o valor de entrada modificado</p> <p>• Teclas para subir y bajar Utilizar las teclas para cambiar los valores visualizados en el display No.2. Cada vez que se pulsa la tecla <math>\uparrow</math> aumenta o avanza el valor visualizado en display No.2. Cada vez que se pulsa la tecla <math>\downarrow</math> disminuye o retrocede el valor visualizado en el display No.2.</p>	<p><b>Indicadores de operación</b></p> <p>• AL 1: alarma 1 Se ilumina mientras la alarma 1 está en operación.</p> <p>• AL 2: alarma 2 Se ilumina mientras la alarma 2 está en operación.</p> <p>• HB: quemadura del calefactor Se ilumina para indicar que se ha producido la quemadura del calefactor.</p> <p>• OT1 Se ilumina cuando el control del proceso 1 está activado; se apaga cuando el control del proceso 1 está desactivado. El tipo E5CA-1 no cuenta con este indicador.</p> <p>• OT2 Se ilumina cuando el control del proceso 2 está activado; se apaga cuando el control del proceso 2 está desactivado.</p> <p>• STP Se ilumina cuando la operación se ha detenido. Se ilumina durante las operaciones de control, para indicar que la entrada del nivel o la especificación de temperatura ha cambiado para errores. Permanece segura en todos los demás casos.</p> <p>• CMW: control de "reserva" por comunicaciones. Se ilumina cuando se activa la función de "reserva" y se apaga cuando se desactiva dicha función.</p>	<p><b>Indicación de temperatura "C/F"</b> Se utiliza para indicar que el valor que aparece en pantalla se refiere a la temperatura.</p> <p>Se determina de acuerdo con el parámetro de "unidad de temperatura" de tipo.</p> <p>F = °F C = °C</p>



# Menú de operación

## Tipo de entrada

Tipo de entrada	Entrada	Valor	Escala de valores
Termómetro resistivo al platino	P100	0	-300 a 850 (°C) / -500 a 1500 (°F)
		1	-100 a 500 (°C) / -100 a 900 (°F)
		2	0.0 a 500.0 (°C) / 0.0 a 900.0 (°F)
		3	-100.0 a 500.0 (°C) / -100.0 a 900.0 (°F)
	4	0.0 a 500.0 (°C) / 0.0 a 900.0 (°F)	
Termocupla	K	0	-300 a 1300 (°C) / -500 a 2300 (°F)
	J	2	-100 a 800 (°C) / -100 a 1500 (°F)
	B	3	-50.0 a 400.0 (°C) / 0.0 a 750.0 (°F)
	F	4	-300 a 400 (°C) / -500 a 750 (°F)
	L	5	0 a 600 (°C) / 0 a 1100 (°F)
	E	6	-100 a 800 (°C) / -100 a 1500 (°F)
	U	7	-300 a 800 (°C) / -500 a 1500 (°F)
	N	18	-100.0 a 400.0 (°C) / -100.0 a 700.0 (°F)
	H	9	0 a 1700 (°C) / 0 a 3000 (°F)
	S	10	0 a 1700 (°C) / 0 a 3000 (°F)
	R	11	100 a 800 (°C) / 200 a 1500 (°F)
Termómetro infrarrojo ES1A	10	-20 a 120 (°C)	0 a 200 (°F)
	13	0 a 120 (°C)	0 a 240 (°F)
	14	0 a 165 (°C)	0 a 320 (°F)
Entrada analógica	0	0 a 50mV	
	10	Utilice las siguientes escalas para efectuar la graduación: -1000 a 600, -100.0 a 60.0, -100.0 a 60.0, Varía según el valor de "L", "H".	

## Tipo de alarma

Valor	Tipo de alarma	Función de estado de la alarma
0	Alarma de límite superior e inferior (desactivado)	Salida apagada
1	Alarma de límite superior (desactivado)	Varía con los valores "L", "H"
2	Alarma de límite inferior (desactivado)	Varía con los valores "L", "H"
3	Alarma de rango de límite superior e inferior con secuencia de standby (desactivado)	Varía con los valores "L", "H"
4	Alarma de límite superior e inferior con secuencia de standby (desactivado)	Varía con los valores "L", "H"
5	Alarma de límite superior con secuencia de standby (desactivado)	Varía con los valores "L", "H"
6	Alarma de límite inferior con secuencia de standby (desactivado)	Varía con los valores "L", "H"
7	Alarma de límite superior de valor absoluto	ON/OFF
8	Alarma de límite inferior de valor absoluto	ON/OFF
9	Límite inferior de valor absoluto	ON/OFF
10	Alarma de límite superior de valor absoluto con secuencia de standby	ON/OFF
11	Alarma de límite inferior de valor absoluto con secuencia de standby	ON/OFF

\*1: Es posible fijar los límites superior e inferior para los parámetros 1, 4 y 5 para prepararlos para distintos tipos de alarma. Están indicados con las letras "L" y "H".

## Indicación de errores (identificación de problemas)

Cuando se produce un error, la pantalla N° 1 indica en forma alternativa los códigos de error junto con el elemento de indicación actual.

Parámetro N° 1	Significado	Solución posible	Estado
SErr (SEr)	Error de entrada	Verifique el cableado de las entradas, desconecte y reinicie el tipo de entrada.	OFF
SErr (SEr)	Error de comunicación	Verifique el cableado de comunicación, reinicie la comunicación y reinicie el tipo de entrada.	OFF
E111 (E11)	Error de memoria	Reinicie la alimentación y reinicie el controlador. Si la pantalla vuelve a mostrar este código de error, consulte al proveedor de la unidad para verificar la existencia de un problema.	OFF
NErr (NEr)	Error de unidad interna		OFF

Si la entrada está dentro del rango de control posible pero excede el rango de visualización, el código de error puede ser E111 (E11). Si se visualiza E111, se visualiza también el código de error E111 (E11).

## Nivel inicial de valores

Control detenido

\*3: Consulte en la tabla continua los detalles referidos a los tipos de entrada y alarma.

## Otras funciones

Además de las funciones mencionadas, en el nivel de selección apropiada se dispone de hándseps de alarma, visualización automática de modo de visualización y otras funciones. Consulte el "Manual de Operación de ESN" para más información. Para más información sobre comunicaciones, consulte el "Manual de Operación y Conexiones de ESN/ENGINV".

OMRON ELECTRONICS, INC.  
 1 East Commerce Drive, Schaumburg, Illinois 60173 U.S.A.  
 Phone 1-847-843-7000 FAX: 1-847-843-8566/7767  
 EUROPEAN H.Q.: OMRON EUROPE B.V.  
 Weglaan 67-69 2132 JD HOOFDDORP THE NETHERLANDS  
 Phone 31-23-5661300 FAX: 31-23-5661388

## ALIMENTACIÓN ENCENDIDA (POWER ON)

Nivel de operación

\*4: Aplicable sólo a los modelos que incluyen funciones de alarma.  
 \*5: Aplicable sólo a los modelos que incluyen una función de alarma de quedada del catalizador.  
 \*6: Aplicable sólo a los modelos que incluyen una función de comunicaciones.  
 \*7: Aplicable sólo a los modelos que incluyen una función de eventos.  
 \*8: El controlador no opera durante el nivel inicial de ajuste. (Se detendrá el proceso.)

Nivel de protección

No es posible realizar un ingreso mediante las teclas para modificar los parámetros de estos procesos.

AT (autoselección)

AT para el ajuste de la temperatura. Cuando se ejecuta la AT, se AT en ejecución. Para cancelar la AT, seleccione "gFF: AT cancelada".

Tipos de cancelación de AT:

- Tipos de cancelación de AT: "gFF: AT cancelada"
- Tipos de cancelación de AT: "gFF: AT cancelada"

La pantalla indica "OFF" una vez que finaliza la ejecución de la AT.

Ejemplo:

## Nivel de ajuste

El nivel de ajuste es el modo de entrada para los parámetros de control y corrección.

Utilice las siguientes operaciones de teclas para efectuar la transición de un nivel a otro:  
 Nivel de operación → Nivel de protección: tecla [ ] durante tres segundos como mínimo.  
 Nivel de operación → Nivel de ajuste: tecla [ ] durante un lapso menor a un segundo.  
 Nivel de ajuste → Nivel inicial: tecla [ ] durante tres segundos como mínimo.  
 Los valores correspondientes a los parámetros que figuran en gris sólo aparecen indicados cuando se los ajusta.

Protección de ajuste / operación

La siguiente tabla muestra la relación existente entre los parámetros y los límites de protección, respecto del nivel de operación y del nivel de ajuste.

Modo	Valor	Estado
Modo	0 1 2 3	○: Puede ser indicado o modificado
Valor del proceso	○ ○ ○ ○	○: Se puede visualizar
Punto de ajuste	○ ○ ○ ○	○: No se puede visualizar y no se puede pasar a otros niveles
Otros	○ ○ ○ ○	○: No se puede visualizar y no se puede pasar a otros niveles
Nivel de ajuste	○ ○ ○ ○	○: No se puede visualizar y no se puede pasar a otros niveles

Protección de comunicación / inicial

Limita la transición al nivel inicial de ajuste, al nivel de ajuste de comunicación y al nivel de ajuste de función avanzadas.

Valor	Valor de ajuste inicial	Valor de ajuste de la comunicación
0	Transición posible	Transición posible
1	Transición posible	Transición posible
2	Transición posible	Transición posible

Protección de la modificación de los parámetros

# ANEXO 14

## Instrucciones del temporizador OMRON

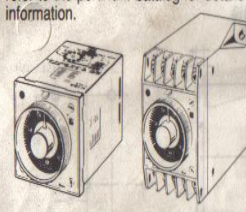
**OMRON**

Model **H3BA** SOLID-STATE  
TIMER

**INSTRUCTION MANUAL**

Model H3BA SOLID-STATE TIMER

This manual primarily describes precautions required in installing, wiring and handling. When using the timer, please refer to the pertinent catalog for detailed information.



OMRON TATEISI ELECTRONICS CO.

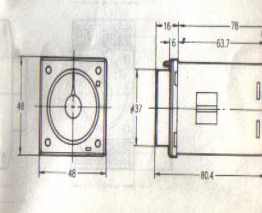
**AVAILABLE TYPES**

Operation/resetting system	Time-limit operation/self-resetting/external resetting*		Time-limit operation/self-resetting	Time-limit operation/self-resetting
Operation mode	ON-delay, Flicker, Signal ON-/OFF-delay, or Signal OFF-delay operation (selectable)		ON-delay operation	ON-delay operation
Terminal form	11-pin round socket	Front screw	8-pin round socket	8-pin round socket
Time-limit contact	DPDT	SPDT	DPDT	SPDT
Instantaneous contact	-		-	SPDT
Equipped with RUN/UP indicator	Surface mounting	H3BA (with P2CF-11 socket)	H3BA-FA	H3BA-8 (with P2CF-08 socket)
	Track mounting	-	-	H3BA-8H (with P2CF-08 socket)
	Flush mounting	H3BA (with Y92F-30 adapter)	-	H3BA-8H (with Y92F-30 adapter)

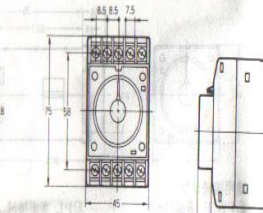
NOTE: \* The operation/resetting system is dependent on the selected operation mode. For details, see "TIMING CHARTS (OPERATION MODES)"

**DIMENSIONS**

● H3BA/H3BA-8(-8H)



● H3BA-FA

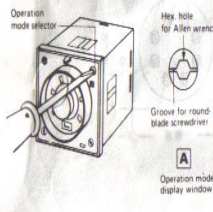


NOTE: When mounting two or more timers in line, dimension L between the two juxtaposed timers should be 10mm min.

**HINTS ON CORRECT USE**

● HOW TO CHANGE OPERATION MODE

Turn the operation mode selector (i.e., rotary switch) with a round-blade screwdriver or an Allen wrench until the desired operation mode (A, B, C or D) appears in the display window located below the selector.



Operation mode selector

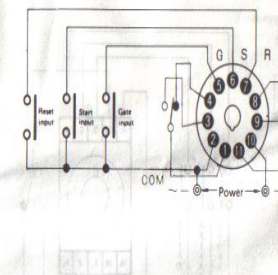
Hex hole for Allen wrench

Groove for round-blade screwdriver

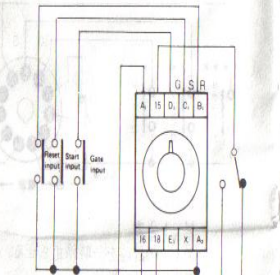
Operation mode display window

**CONNECTIONS**

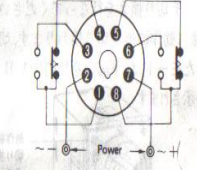
● H3BA



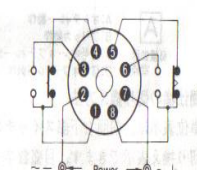
● H3BA-FA



● H3BA-8



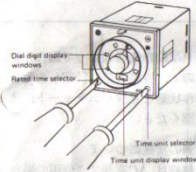
● H3BA-8H



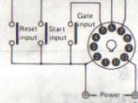
**HOW TO CHANGE TIME UNIT AND RATED TIME**

The desired time unit (sec, min, hrs, or 10h) can be displayed in the window below the time setting knob by turning the time unit selector (i.e., rotary switch) located at the lower right corner of the front panel. Dial digits appear in the six windows around the time setting knob according to the rated time selected by turning the rated time selector (i.e., rotary switch) located at the lower left corner of the front panel. The following digits will appear in the respective dial digit display windows:

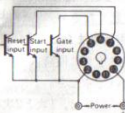
Rated time	Dial digits
0.5	0-0.1-0.2-0.3-0.4-0.5
1	0-0.2-0.4-0.6-0.8-1.0
5	0-1-2-3-4-5
10	0-2-4-6-8-10



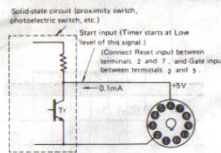
**Connection of contact signal inputs**  
Connect the start input contact between terminals ② and ⑥, the reset input contact between terminals ② and ⑦ and the gate input contact between terminals ② and ⑤, respectively. For each signal input contact, use a gold-plated contact of high contact reliability. Be sure that these input signals satisfy the following requirements: a resistance of 1kΩ max. and a residual voltage of 1V max. when the contact makes.



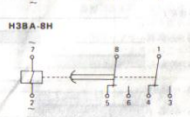
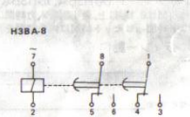
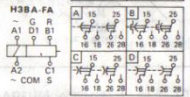
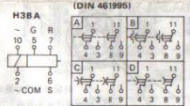
**Connection of solid-state signal inputs**  
Connect the start input transistor between terminals ② and ⑥, the reset input transistor between terminals ② and ⑦, and the gate input transistor between terminals ② and ⑤, respectively.



For signal input, use a transistor of open collector type with characteristics:  $V_{CE0} = 20V$  min.,  $V_{CEsat} = 1V$  max.,  $I_C = 50mA$  min., and  $I_{Cmax} = 0.5A$  max. In addition, be sure that these input signals satisfy the following requirements: a resistance of 1kΩ max. when the transistor is ON, residual voltage of 1V max. when the transistor is ON, and a resistance of 200Ω min. when the transistor is OFF. From a solid-state circuit (proximity switch, photoelectric switch, or the like) with the rated supply voltage ranging from 6 to 30 VDC, input signals can also be applied by other than the open collector type transistor as shown in the following diagram.

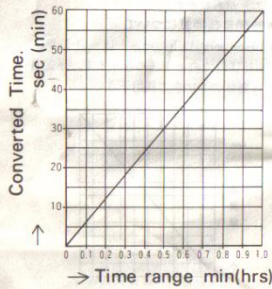


**NOTE:**  
Excepting the wirings for power supply circuit, avoid the laying of input signal wires in parallel or in the same conduit with high-tension or power lines. It is recommended to use shielded wires or wiring with independent metal conduits for the shortest possible distance.



**Time scale converted graph**

Please use this min. → sec. hrs. → min converted graph when the time range is over 10 sec(min).

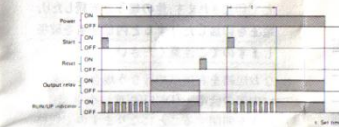


**TIMING CHARTS (OPERATION MODES)**

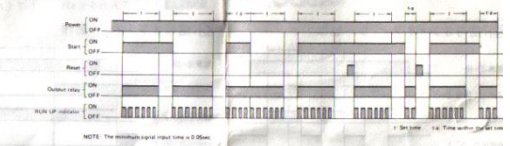
**H3BA(-FA)**

**A mode ON-delay operation**

**Signal start**

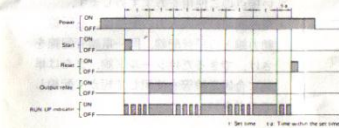


**C mode Signal ON/OFF-delay operation**

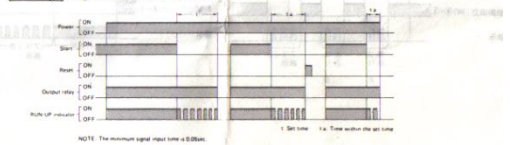


**B mode Flicker operation**

**Signal start**



**D mode Signal OFF-delay operation**



# Anexo 15

## Instrucciones de montaje del contactor

**OMRON**

Instruction Manual  
Bedienungsanleitung  
Notice d'installation  
Istruzioni per il montaggio  
Instrucciones de montaje

OCKM-2048.01-08.97

---

**J7K-BM-..(A)(-D), J7K-BM-4(D), J7K-CM(A)(-D),  
J7K-DM(A)(-D), J7K-EM(A)(-D)**

**Mounting position/ Einbaulage/ Position de montage**  
**Posizione di montaggio/ Posición de montaje**

J7K-BM (A)(-D)... as required, except inverted  
J7K-BM-4(D) beliebig, außer hängend  
quelconque, sauf tête en bas  
qualunque, salvo appeso  
cualquiera, excepto suspendido

J7K-CM(A)(-D)  
J7K-DM(A)(-D)  
J7K-EM(A)(-D)

**Electric current! Danger to life!**  
Only skilled or instructed persons may carry out the following operations.

**Lebensgefahr durch elektrischen Strom!**  
Nur Elektrofachkräfte und elektrotechnisch unterwiesene Personen dürfen die im folgenden beschriebenen Arbeiten ausführen.

**Tension électrique dangereuse !**  
Seuls les personnes qualifiées et averties doivent exécuter les travaux ci-après.

**Pericolo di morte causa corrente elettrica!**  
Solo persone istruite e avvertite possono eseguire le operazioni di seguito riportate.

**¡Corriente eléctrica! ¡Peligro de muerte!**  
El trabajo a continuación descrito debe ser realizado por personas cualificadas y advertidas.

---

\*J7K-BM(A)(-D)  
\*J7K-BM-4(-D)  
J7K-CM(A)(-D)  
J7K-DM(A)(-D)  
J7K-EM(A)(-D)

J73K-CM-11S

J7TK-B-..  
J7TK-D-..

J7KB-PTE-11  
J7KB-PTD-11

J73K-B

**J7KB-FD** Observe off-delay!  
Abfallverzögerung beachten!  
Tenir compte du retard à la chute !  
Considerare il ritardo alla disconnessione!  
Tener en cuenta el retardo a la desconexión!

J7KB-MV

J7KB-FD  
J7KB-RC  
J7KB-VG

EN 50022  
35 x 15

J73K-CM-11S

**Click!**

**Dismounting**  
Démontage  
Smontaggio  
Desmontaje

0.2 s → 30 s  
20 s → 180 s

# ANEXO 16

## Norma ASTM E112 (standard test methods for Determining average grain size)



Designation: E 112 – 96<sup>ε1</sup>

An American National Standard

### Standard Test Methods for Determining Average Grain Size<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E 112; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

<sup>ε1</sup> NOTE—Equations A1.4, A1.5 and A1.6 were editorially revised in April 2000.

#### INTRODUCTION

These test methods of determination of average grain size in metallic materials are primarily measuring procedures and, because of their purely geometric basis, are independent of the metal or alloy concerned. In fact, the basic procedures may also be used for the estimation of average grain, crystal, or cell size in nonmetallic materials. The comparison method may be used if the structure of the material approaches the appearance of one of the standard comparison charts. The intercept and planimetric methods are always applicable for determining average grain size. However, the comparison charts cannot be used for measurement of individual grains.

#### 1. Scope

1.1 These test methods cover the measurement of average grain size and include the comparison procedure, the planimetric (or Jeffries) procedure, and the intercept procedures. These test methods may also be applied to nonmetallic materials with structures having appearances similar to those of the metallic structures shown in the comparison charts. These test methods apply chiefly to single phase grain structures but they can be applied to determine the average size of a particular type of grain structure in a multiphase or multiconstituent specimen.

1.2 These test methods are used to determine the average grain size of specimens with a unimodal distribution of grain areas, diameters, or intercept lengths. These distributions are approximately log normal. These test methods do not cover methods to characterize the nature of these distributions. Characterization of grain size in specimens with duplex grain size distributions is described in Test Methods E 1181. Measurement of individual, very coarse grains in a fine grained matrix is described in Test Methods E 930.

1.3 These test methods deal only with determination of planar grain size, that is, characterization of the two-dimensional grain sections revealed by the sectioning plane. Determination of spatial grain size, that is, measurement of the size of the three-dimensional grains in the specimen volume, is beyond the scope of these test methods.

1.4 These test methods describe techniques performed manually using either a standard series of graded chart images

for the comparison method or simple templates for the manual counting methods. Utilization of semi-automatic digitizing tablets or automatic image analyzers to measure grain size is described in Test Methods E 1382.

1.5 These test methods deal only with the recommended test methods and nothing in them should be construed as defining or establishing limits of acceptability or fitness of purpose of the materials tested.

1.6 The measured values are stated in SI units, which are regarded as standard. Equivalent inch-pound values, when listed, are in parentheses and may be approximate.

1.7 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

1.8 The paragraphs appear in the following order:

Section	Number
Scope	1
Referenced Documents	2
Terminology	3
Significance and Use	4
Generalities of Application	5
Sampling	6
Test Specimens	7
Calibration	8
Preparation of Photomicrographs	9
Comparison Procedure	10
Planimetric (Jeffries) Procedure	11
General Intercept Procedures	12
Heyn Linear Intercept Procedure	13
Circular Intercept Procedures	14
Hilliard Single-Circle Procedure	14.2
Abrams Three-Circle Procedure	14.3
Statistical Analysis	15
Specimens with Non-equiaxed Grain Shapes	16
Specimens Containing Two or More Phases or Constituents	17

<sup>1</sup> These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E-4 on Metallography and are the direct responsibility of Subcommittee E04.08 on Grain Size.

Current edition approved May 10, 1996. Published July 1996. Originally published as E 112 – 55 T. Last previous edition E 112 – 95.

Report	18
Precision and Bias	19
Keywords	20
Annexes:	
Basis of ASTM Grain Size Numbers	Annex A1
Equations for Conversions Among Various Grain Size Measurements	Annex A2
Austenite Grain Size, Ferritic and Austenitic Steels	Annex A3
Fracture Grain Size Method	Annex A4
Requirements for Wrought Copper and Copper-Base Alloys	Annex A5
Application to Special Situations	Annex A6
Appendixes:	
Results of Interlaboratory Grain Size Determinations	Appendix X1
Referenced Adjuncts	Appendix X2

2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards*:
  - E 3 Practice for Preparation of Metallographic Specimens<sup>2</sup>
  - E 7 Terminology Relating to Metallography<sup>2</sup>
  - E 407 Practice for Microetching Metals and Alloys<sup>2</sup>
  - E 562 Practice for Determining Volume Fraction by Systematic Manual Point Count<sup>2</sup>
  - E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method<sup>3</sup>
  - E 883 Guide for Reflected-Light Photomicrography<sup>2</sup>
  - E 930 Test Methods for Estimating the Largest Grain Observed in a Metallographic Section (ALA Grain Size)<sup>2</sup>
  - E 1181 Test Methods for Characterizing Duplex Grain Sizes<sup>2</sup>
  - E 1382 Test Methods for Determining Average Grain Size Using Semiautomatic and Automatic Image Analysis<sup>2</sup>
- 2.2 *ASTM Adjuncts*:
  - 2.2.1 For a complete adjunct list, see Appendix X2

3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions of terms used in these test methods, see Terminology E 7.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard*:

3.2.1 *ASTM grain size number*—the ASTM grain size number,  $G$ , was originally defined as:

$$N_{AE} = 2^{G-1} \quad (1)$$

where  $N_{AE}$  is the number of grains per square inch at 100X magnification. To obtain the number per square millimetre at 1X, multiply by 15.50.

3.2.2 *grain*—that area within the confines of the original (primary) boundary observed on the two-dimensional plane-of-polish or that volume enclosed by the original (primary) boundary in the three-dimensional object. In materials containing twin boundaries, the twin boundaries are ignored, that is, the structure on either side of a twin boundary belongs to the grain.

3.2.3 *grain boundary intersection count*—determination of the number of times a test line cuts across, or is tangent to,

grain boundaries (triple point intersections are considered as 1-1/2 intersections).

3.2.4 *grain intercept count*—determination of the number of times a test line cuts through individual grains on the plane of polish (tangent hits are considered as one half an interception test lines that end within a grain are considered as one half an interception).

3.2.5 *intercept length*—the distance between two opposed adjacent grain boundary intersection points on a test line segment that crosses the grain at any location due to random placement of the test line.

3.3 *Symbols: Symbols*:

- $\alpha$  = matrix grains in a two phase (constituent) microstructure.
- $A$  = test area.
- $\bar{A}$  = mean grain cross sectional area.
- $AI_e$  = grain elongation ratio or anisotropy index for a longitudinally oriented plane.
- $\bar{d}$  = mean planar grain diameter (Plate III).
- $\bar{D}$  = mean spatial (volumetric) grain diameter.
- $f$  = Jeffries multiplier for planimetric method.
- $G$  = ASTM grain size number.
- $\ell$  = mean lineal intercept length.
- $\bar{\ell}_\alpha$  = mean lineal intercept length of the  $\alpha$  matrix phase in a two phase (constituent) microstructure.
- $\bar{\ell}_\ell$  = mean lineal intercept length on a longitudinally oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
- $\bar{\ell}_t$  = mean lineal intercept length on a transversely oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
- $\bar{\ell}_p$  = mean lineal intercept length on a planar oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
- $\ell_0$  = base intercept length of 32.00 mm for defining the relationship between  $G$  and  $\ell$  (and  $N_L$ ) for macroscopically or microscopically determined grain size by the intercept method.
- $L$  = length of a test line.
- $M$  = magnification used.
- $M_b$  = magnification used by a chart picture series.
- $n$  = number of fields measured.
- $N_\alpha$  = number of  $\alpha$  grains intercepted by the test line in a two phase (constituent) microstructure.
- $N_A$  = number of grains per mm<sup>2</sup> at 1X.
- $N_{A\alpha}$  = number of  $\alpha$  grains per mm<sup>2</sup> at 1X in a two phase (constituent) microstructure.
- $N_{AE}$  = number of grains per inch<sup>2</sup> at 100X.
- $N_{A\ell}$  =  $N_A$  on a longitudinally oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
- $N_{At}$  =  $N_A$  on a transversely oriented surface for a non-equiaxed grain structure.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

$N_{Ap}$	= $N_A$ on a planar oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
$N_i$	= number of intercepts with a test line.
$N_{\text{Inside}}$	= number of grains completely within a test circle.
$N_{\text{Intercepted}}$	= number of grains intercepted by the test circle.
$N_L$	= number of intercepts per unit length of test line.
$N_{Le}$	= $N_L$ on a longitudinally oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
$N_{Lt}$	= $N_L$ on a transversely oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
$N_{Lp}$	= $N_L$ on a planar oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
$P_i$	= number of grain boundary intersections with a test line.
$P_L$	= number of grain boundary intersections per unit length of test line.
$P_{Le}$	= $P_L$ on a longitudinally oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
$P_{Lt}$	= $P_L$ on a transversely oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
$P_{Lp}$	= $P_L$ on a planar oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
$Q$	= correction factor for comparison chart ratings using a non-standard magnification for microscopically determined grain sizes.
$Q_m$	= correction factor for comparison chart ratings using a non-standard magnification for macroscopically determined grain sizes.
$s$	= standard deviation.
$S_V$	= grain boundary surface area to volume ratio for a single phase structure.
$S_{V\alpha}$	= grain boundary surface area to volume ratio for a two phase (constituent) structure.
$t$	= students' $t$ multiplier for determination of the confidence interval.
$V_{V\alpha}$	= volume fraction of the $\alpha$ phase in a two phase (constituent) microstructure.
95 % CI	= 95 % confidence interval.
% RA	= percent relative accuracy.

#### 4. Significance and Use

4.1 These test methods cover procedures for estimating and rules for expressing the average grain size of all metals consisting entirely, or principally, of a single phase. The test methods may also be used for any structures having appearances similar to those of the metallic structures shown in the comparison charts. The three basic procedures for grain size estimation are:

4.1.1 *Comparison Procedure*—The comparison procedure does not require counting of either grains, intercepts, or intersections but, as the name suggests, involves comparison of the grain structure to a series of graded images, either in the form of a wall chart, clear plastic overlays, or an eyepiece reticle. There appears to be a general bias in that comparison

grain size ratings claim that the grain size is somewhat coarser ( $1/2$  to 1  $G$  number lower) than it actually is (see X1.3.5). Repeatability and reproducibility of comparison chart ratings are generally  $\pm 1$  grain size number.

4.1.2 *Planimetric Procedure*—The planimetric method involves an actual count of the number of grains within a known area. The number of grains per unit area,  $N_A$ , is used to determine the ASTM grain size number,  $G$ . The precision of the method is a function of the number of grains counted. A precision of  $\pm 0.25$  grain size units can be attained with a reasonable amount of effort. Results are free of bias and repeatability and reproducibility are less than  $\pm 0.5$  grain size units. An accurate count does require marking off of the grains as they are counted.

4.1.3 *Intercept Procedure*—The intercept method involves an actual count of the number of grains intercepted by a test line or the number of grain boundary intersections with a test line, per unit length of test line, used to calculate the mean lineal intercept length,  $\bar{\tau}$ .  $\bar{\tau}$  is used to determine the ASTM grain size number,  $G$ . The precision of the method is a function of the number of intercepts or intersections counted. A precision of better than  $\pm 0.25$  grain size units can be attained with a reasonable amount of effort. Results are free of bias; repeatability and reproducibility are less than  $\pm 0.5$  grain size units. Because an accurate count can be made without need of marking off intercepts or intersections, the intercept method is faster than the planimetric method for the same level of precision.

4.2 For specimens consisting of equiaxed grains, the method of comparing the specimen with a standard chart is most convenient and is sufficiently accurate for most commercial purposes. For higher degrees of accuracy in determining average grain size, the intercept or planimetric procedures may be used. The intercept procedure is particularly useful for structures consisting of elongated grains.

4.3 In case of dispute, the intercept procedure shall be the referee procedure in all cases.

4.4 No attempt should be made to estimate the average grain size of heavily cold-worked material. Partially recrystallized wrought alloys and lightly to moderately cold-worked material may be considered as consisting of non-equiaxed grains, if a grain size measurement is necessary.

4.5 *Individual grain measurements should not be made based on the standard comparison charts.* These charts were constructed to reflect the typical log-normal distribution of grain sizes that result when a plane is passed through a three-dimensional array of grains. Because they show a distribution of grain dimensions, ranging from very small to very large, depending on the relationship of the planar section and the three-dimensional array of grains, the charts are not applicable to measurement of individual grains.

#### 5. Generalities of Application

5.1 It is important, in using these test methods, to recognize that the estimation of average grain size is not a precise measurement. A metal structure is an aggregate of three-dimensional crystals of varying sizes and shapes. Even if all these crystals were identical in size and shape, the grain cross

sections, produced by a random plane (surface of observation) through such a structure, would have a distribution of areas varying from a maximum value to zero, depending upon where the plane cuts each individual crystal. Clearly, no two fields of observation can be exactly the same.

5.2 The size and location of grains in a microstructure are normally completely random. No nominally random process of positioning a test pattern can improve this randomness, but random processes can yield poor representation by concentrating measurements in part of a specimen. *Representative* implies that all parts of the specimen contribute to the result, not, as sometimes has been presumed, that fields of average grain size are selected. Visual selection of fields, or casting out of extreme measurements, may not falsify the average when done by unbiased experts, but will in all cases give a false impression of high precision. For representative sampling, the area of the specimen is mentally divided into several equal coherent sub-areas and stage positions prespecified, which are approximately at the center of each sub-area. The stage is successively set to each of these positions and the test pattern applied blindly, that is, with the light out, the shutter closed, or the eye turned away. No touch-up of the position so selected is allowable. Only measurements made on fields chosen in this way can be validated with respect to precision and bias.

**6. Sampling**

6.1 Specimens should be selected to represent average conditions within a heat lot, treatment lot, or product, or to assess variations anticipated across or along a product or component, depending on the nature of the material being tested and the purpose of the study. Sampling location and frequency should be based upon agreements between the manufacturers and the users.

6.2 Specimens should not be taken from areas affected by shearing, burning, or other processes that will alter the grain structure.

**7. Test Specimens**

7.1 In general, if the grain structure is equiaxed, any specimen orientation is acceptable. However, the presence of an equiaxed grain structure in a wrought specimen can only be determined by examination of a plane of polish parallel to the deformation axis.

7.2 If the grain structure on a longitudinally oriented specimen is equiaxed, then grain size measurements on this plane, or any other, will be equivalent within the statistical precision of the test method. If the grain structure is not equiaxed, but elongated, then grain size measurements on specimens with different orientations will vary. In this case, the grain size should be evaluated on at least two of the three principle planes, transverse, longitudinal, and planar (or radial and transverse for round bar) and averaged as described in Section 16 to obtain the mean grain size. If directed test lines are used, rather than test circles, intercept counts on non-equiaxed grains in plate or sheet type specimens can be made using only two principle test planes, rather than all three as required for the planimetric method.

7.3 The surface to be polished should be large enough in area to permit measurement of at least five fields at the desired

magnification. In most cases, except for thin sheet or wire specimens, a minimum polished surface area of 160 mm<sup>2</sup> (0.25 in.<sup>2</sup>) is adequate.

7.4 The specimen shall be sectioned, mounted (if necessary), ground, and polished according to the recommended procedures in Practice E 3. The specimen shall be etched using a reagent, such as listed in Practice E 407, to delineate most, or all, of the grain boundaries (see also Annex A3).

**TABLE 1 Suggested Comparison Charts for Metallic Materials**

NOTE 1—These suggestions are based upon the customary practices in industry. For specimens prepared according to special techniques, the appropriate comparison standards should be selected on a structural-appearance basis in accordance with 8.2.

Material	Plate Number	Basic Magnification
Aluminum	I	100X
Copper and copper-base alloys (see Annex A4)	III or IV	75X, 100X
Iron and steel:		
Austenitic	II or IV	100X
Ferritic	I	100X
Carburized	IV	100X
Stainless	II	100X
Magnesium and magnesium-base alloys	I or II	100X
Nickel and nickel-base alloys	II	100X
Super-strength alloys	I or II	100X
Zinc and zinc-base alloys	I or II	100X

**8. Calibration**

8.1 Use a stage micrometer to determine the true linear magnification for each objective, eyepiece and bellows, or zoom setting to be used within ±2 %.

8.2 Use a ruler with a millimetre scale to determine the actual length of straight test lines or the diameter of test circles used as grids.

**9. Preparation of Photomicrographs**

9.1 When photomicrographs are used for estimating the average grain size, they shall be prepared in accordance with Guide E 883.

**10. Comparison Procedure**

10.1 The comparison procedure shall apply to completely recrystallized or cast materials with equiaxed grains.

10.2 When grain size estimations are made by the more convenient comparison method, repeated checks by individuals as well as by interlaboratory tests have shown that unless the appearance of the standard reasonably well approaches that of the sample, errors may occur. To minimize such errors, the comparison charts are presented in four categories as follows:<sup>4</sup>

10.2.1 *Plate I*—Untwinned grains (flat etch). Includes grain size numbers 00, 0, ½, 1, 1½, 2, 2½, 3, 3½, 4, 4½, 5, 5½, 6, 6½, 7, 7½, 8, 8½, 9, 9½, 10, at 100X.

10.2.2 *Plate II*—Twinned grains (flat etch). Includes grain size numbers, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, at 100X.

<sup>4</sup> Plates I, II, III, and IV are available from ASTM Headquarters. Order Adjunct: ADJE011201 (Plate I), ADJE011202 (Plate II), ADJE011203 (Plate III), and ADJE011204 (Plate IV). A combination of all four plates is also available. Order Adjunct: ADJE011214.



10.2.3 *Plate III*—Twinned grains (contrast etch). Includes nominal grain diameters of 0.200, 0.150, 0.120, 0.090, 0.070, 0.060, 0.050, 0.045, 0.035, 0.025, 0.020, 0.015, 0.010, 0.005 mm at 75X.

10.2.4 *Plate IV*—Austenite grains in steel (McQuaid-Ehn). Includes grain size numbers 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, at 100X.

10.3 Table 1 lists a number of materials and the comparison charts that are suggested for use in estimating their average grain sizes. For example, for twinned copper and brass with a contrast etch, use Plate III.

NOTE 1—Examples of grain-size standards from Plates I, II, III, and IV are shown in Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3, and Fig. 4.

10.4 The estimation of microscopically-determined grain size should usually be made by direct comparison at the same magnification as the appropriate chart. Accomplish this by comparing a projected image or a photomicrograph of a representative field of the test specimen with the photomicrographs of the appropriate standard grain-size series, or with suitable reproductions or transparencies of them, and select the photomicrograph which most nearly matches the image of the test specimen or interpolate between two standards. Report this estimated grain size as the ASTM grain size number, or grain diameter, of the chart picture that most closely matches the image of the test specimen or as an interpolated value between two standard chart pictures.

10.5 Good judgment on the part of the observer is necessary to select the magnification to be used, the proper size of area (number of grains), and the number and location in the specimen of representative sections and fields for estimating the characteristic or average grain size. It is not sufficient to visually select what appear to be areas of average grain size. Recommendations for choosing appropriate areas for all procedures have been noted in 5.2.

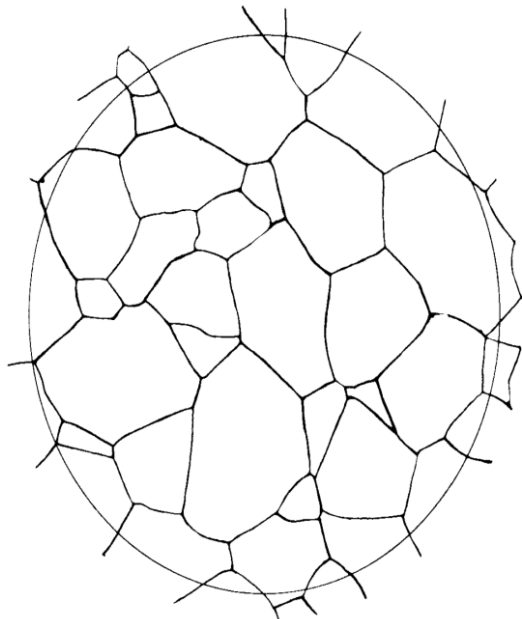


FIG. 1 Example of Untwinned Grains (Flat Etch) from Plate I. Grain Size No. 3 at 100X

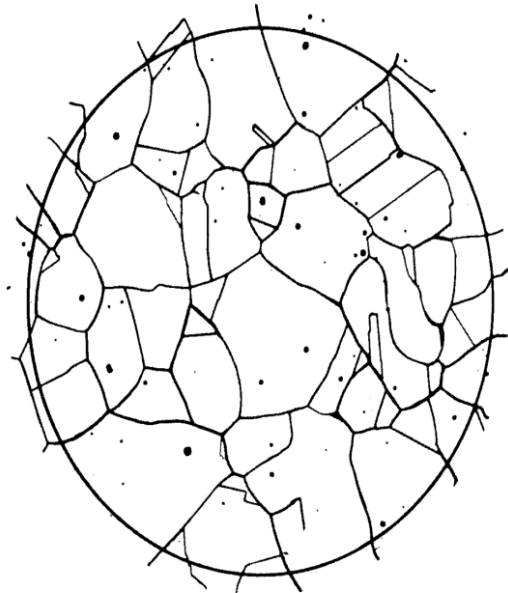


FIG. 2 Example of Twin Grains (Flat Etch) from Plate II. Grain Size No. 3 at 100X



FIG. 3 Example of Twin Grains (Contrast Etch) from Plate III. Grain Size 0.090 mm at 75X

10.6 Grain size estimations shall be made on three or more representative areas of each specimen section.

10.7 When the grains are of a size outside the range covered by the standard photographs, or when magnifications of 75X or 100X are not satisfactory, other magnifications may be employed for comparison by using the relationships given in Note 2 and Table 2. It may be noted that alternative magnifications



FIG. 4 Example of Austenite Grains in Steel from Plate IV. Grain Size No. 3 at 100X

TABLE 2 Microscopically Determined Grain Size Relationships Using Plate III at Various Magnifications

NOTE 1—First line—mean grain diameter,  $d$ , in mm; in parentheses—equivalent ASTM grain size number,  $G$ .  
NOTE 2—Magnification for Plate III is 75X (row 3 data).

Magnification	Chart Picture Number (Plate III)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
25X	0.015 (9.2)	0.030 (7.2)	0.045 (6.0)	0.060 (5.2)	0.075 (4.5)	0.105 (3.6)	0.135 (2.8)	0.150 (2.5)	0.180 (2.0)	0.210 (1.6)	0.270 (0.8)	0.360 (0)	0.451 (0/00)	0.600 (00 +)
50X	0.0075 (11.2)	0.015 (9.2)	0.0225 (8.0)	0.030 (7.2)	0.0375 (6.5)	0.053 (5.6)	0.0675 (4.8)	0.075 (4.5)	0.090 (4.0)	0.105 (3.6)	0.135 (2.8)	0.180 (2.0)	0.225 (1.4)	0.300 (0.5)
75X	0.005 (12.3)	0.010 (10.3)	0.015 (9.2)	0.020 (8.3)	0.025 (7.7)	0.035 (6.7)	0.045 (6.0)	0.050 (5.7)	0.060 (5.2)	0.070 (4.7)	0.090 (4.0)	0.120 (3.2)	0.150 (2.5)	0.200 (1.7)
100X	0.00375 (13.2)	0.0075 (11.2)	0.0112 (10.0)	0.015 (9.2)	0.019 (8.5)	0.026 (7.6)	0.034 (6.8)	0.0375 (6.5)	0.045 (6.0)	0.053 (5.6)	0.067 (4.8)	0.090 (4.0)	0.113 (3.4)	0.150 (2.5)
200X	0.0019 (15.2)	0.00375 (13.2)	0.0056 (12.0)	0.0075 (11.2)	0.009 (10.5)	0.013 (9.6)	0.017 (8.8)	0.019 (8.5)	0.0225 (8.0)	0.026 (7.6)	0.034 (6.8)	0.045 (6.0)	0.056 (5.4)	0.075 (4.5)
400X	—	0.0025 (14.3)	0.0037 (13.2)	0.005 (12.3)	0.006 (11.7)	0.009 (10.7)	0.011 (10.0)	0.0125 (9.7)	0.015 (9.2)	0.0175 (8.7)	0.0225 (8.2)	0.030 (7.2)	0.0375 (6.5)	0.050 (5.7)
500X	—	—	0.003 (13.8)	0.004 (13.0)	0.005 (12.3)	0.007 (11.4)	0.009 (10.6)	0.010 (10.3)	0.012 (9.8)	0.014 (9.4)	0.018 (8.6)	0.024 (7.8)	0.030 (7.2)	0.040 (6.3)

are usually simple multiples of the basic magnifications.

NOTE 2—If the grain size is reported in ASTM numbers, it is convenient to use the relationship:

$$Q = 2 \log_2 (M/M_b) \tag{2}$$

$$= 6.64 \log_{10} (M/M_b)$$

where  $Q$  is a correction factor that is added to the apparent micro-grain size of the specimen, as viewed at the magnification,  $M$ , instead of at the basic magnification,  $M_b$  (75X or 100X), to yield the true ASTM grain-size number. Thus, for a magnification of 25X, the true ASTM grain-size number is four numbers lower than that of the corresponding photomicrograph at 100X ( $Q = -4$ ). Likewise, for 400X, the true ASTM grain-size number is four numbers higher ( $Q = +4$ ) than that of the corresponding photomicrograph at 100X. Similarly, for 300X, the true ASTM grain-size number is four numbers higher than that of the corresponding photomicrograph at 75X.

10.8 The small number of grains per field at the coarse end of the chart series, that is, size 00, and the very small size of the grains at the fine end make accurate comparison ratings difficult. When the specimen grain size falls at either end of the chart range, a more meaningful comparison can be made by changing the magnification so that the grain size lies closer to the center of the range.

10.9 The use of transparencies<sup>5</sup> or prints of the standards, with the standard and the unknown placed adjacent to each other, is to be preferred to the use of wall chart comparison with the projected image on the microscope screen.

10.10 No particular significance should be attached to the fact that different observers often obtain slightly different results, provided the different results fall within the confidence limits reasonably expected with the procedure used.

10.11 There is a possibility when an operator makes repeated checks on the same specimen using the comparison method that they will be prejudiced by their first estimate. This disadvantage can be overcome, when necessary, by changes in magnification, through bellows extension, or objective or eyepiece replacement between estimates (1).<sup>6</sup>

10.12 Make the estimation of macroscopically-determined grain sizes (extremely coarse) by direct comparison, at a magnification of 1X, of the properly prepared specimen, or of a photograph of a representative field of the specimen, with

photographs of the standard grain series shown in Plate I (for untwinned material) and Plates II and III (for twinned material). Since the photographs of the standard grain size series

<sup>5</sup> Transparencies of the various grain sizes in Plate I are available from ASTM Headquarters. Order Adjunct: ADJE112010 for the set. Transparencies of individual grain size groupings are available on request. Order Adjunct: ADJE011205 (Grain Size 00), ADJE012206 (Grain Size 0), ADJE012207 (Grain Size 0.5), ADJE011208 (Grain Size 1.0), ADJE011209 (Grain Size 1.5), ADJE11210 (Grain Size 2.0), ADJE011211 (Grain Size 2.5), ADJE011212 (Grain Sizes 3.0, 3.5, and 4.0), ADJE011213 (Grain Sizes 4.5, 5.0, and 5.5), ADJE011214 (Grain Sizes 6.0, 6.5, and 7.0), ADJE011215 (Grain Sizes 7.5, 8.0, and 8.5), and ADJE011216 (Grain Sizes 9.0, 9.5, and 10.0). Charts illustrating grain size numbers 00 to 10 are on 8½ by 11 in. (215.9 by 279.4 mm) film. Transparencies for Plates II, III, and IV are not available.

<sup>6</sup> The boldface numbers in parentheses refer to the list of references appended to these test methods.

**TABLE 3 Macroscopic Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains**

NOTE 1—Macroscopically determined grain size numbers M-12.3, M-13.3, M-13.8 and M-14.3 correspond, respectively, to microscopically determined grain size numbers ( $G$ ) 00, 0, 0.5 and 1.0.

Macro Grain Size No.	$\bar{N}_A$ Grains/Unit Area		$\bar{A}$ Average Grain Area		$\bar{d}$ Average Diameter		$\bar{T}$ Mean Intercept		$\bar{N}_L$	$\bar{N}$
	No./mm <sup>2</sup>	No./in. <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	in. <sup>2</sup>	mm	in.	mm	in.	mm <sup>-1</sup>	100 mm
M-0	0.0008	0.50	1290.3	2.00	35.9	1.41	32.00	1.2	0.031	3.13
M-0.5	0.0011	0.71	912.4	1.41	30.2	1.19	26.91	1.0	0.037	3.72
M-1.0	0.0016	1.00	645.2	1.00	25.4	1.00	22.63	0.89	0.044	4.42
M-1.5	0.0022	1.41	456.2	0.707	21.4	0.841	19.03	0.74	0.053	5.26
M-2.0	0.0031	2.00	322.6	0.500	18.0	0.707	16.00	0.63	0.063	6.25
M-2.5	0.0044	2.83	228.1	0.354	15.1	0.595	13.45	0.53	0.074	7.43
M-3.0	0.0062	4.00	161.3	0.250	12.7	0.500	11.31	0.44	0.088	8.84
M-3.5	0.0088	5.66	114.0	0.177	10.7	0.420	9.51	0.37	0.105	10.51
M-4.0	0.0124	8.00	80.64	0.125	8.98	0.354	8.00	0.31	0.125	12.50
M-4.5	0.0175	11.31	57.02	0.0884	7.55	0.297	6.73	0.26	0.149	14.87
M-5.0	0.0248	16.00	40.32	0.0625	6.35	0.250	5.66	0.22	0.177	17.68
M-5.5	0.0351	22.63	28.51	0.0442	5.34	0.210	4.76	0.18	0.210	21.02
M-6.0	0.0496	32.00	20.16	0.0312	4.49	0.177	4.00	0.15	0.250	25.00
M-6.5	0.0701	45.26	14.26	0.0221	3.78	0.149	3.36	0.13	0.297	29.73
M-7.0	0.099	64.00	10.08	0.0156	3.17	0.125	2.83	0.11	0.354	35.36
M-7.5	0.140	90.51	7.13	0.0110	2.67	0.105	2.38	0.093	0.420	42.05
				$\times 10^{-3}$		$\times 10^{-3}$		$\times 10^{-3}$		
M-8.0	0.198	128.0	5.04	7.812	2.25	88.4	2.00	78.7	0.500	50.00
M-8.5	0.281	181.0	3.56	5.524	1.89	74.3	1.68	66.2	0.595	59.46
M-9.0	0.397	256.0	2.52	3.906	1.59	62.5	1.41	55.7	0.707	70.71
M-9.5	0.561	362.1	1.78	2.762	1.33	52.6	1.19	46.8	0.841	84.09
M-10.0	0.794	512.0	1.26	1.953	1.12	44.2	1.00	39.4	1.00	100.0
M-10.5	1.122	724.1	0.891	1.381	0.994	37.2	0.841	33.1	1.19	118.9
M-11.0	1.587	1024.1	0.630	0.977	0.794	31.2	0.707	27.8	1.41	141.4
M-11.5	2.245	1448.2	0.0445	0.690	0.667	26.3	0.595	23.4	1.68	168.2
M-12.0	3.175	2048.1	0.315	0.488	0.561	22.1	0.500	19.7	2.00	200.0
M-12.3	3.908	2521.6	0.256	0.397	0.506	19.9	0.451	17.7	2.22	221.9
M-12.5	4.490	2896.5	0.223	0.345	0.472	18.6	0.420	16.6	2.38	237.8
M-13.0	6.349	4096.3	0.157	0.244	0.397	15.6	0.354	13.9	2.83	282.8
M-13.3	7.817	5043.1	0.128	0.198	0.358	14.1	0.319	12.5	3.14	313.8
M-13.5	8.979	5793.0	0.111	0.173	0.334	13.1	0.297	11.7	3.36	336.4
M-13.8	11.055	7132.1	0.091	0.140	0.301	11.8	0.268	10.5	3.73	373.2
M-14.0	12.699	8192.6	0.079	0.122	0.281	11.0	0.250	9.84	4.00	400.0
M-14.3	15.634	10086.3	0.064	0.099	0.253	9.96	0.225	8.87	4.44	443.8

were made at 75 and 100 diameters magnification, grain sizes estimated in this way do not fall in the standard ASTM grain-size series and hence, preferably, should be expressed either as diameter of the average grain or as one of the macro-grain size numbers listed in Table 3. For the smaller macroscopic grain sizes, it may be preferable to use a higher magnification and the correction factor given in Note 3, particularly if it is desirable to retain this method of reporting.

NOTE 3—If the grain size is reported in ASTM macro-grain size numbers, it is convenient to use the relationship:

$$Q_m = 2 \log_2 M \quad (3)$$

$$= 6.64 \log_{10} M$$

where  $Q_m$  is a correction factor that is added to the apparent grain size of the specimen, when viewed at the magnification  $M$ , instead of at 1X, to yield the true ASTM macro-grain size number. Thus, for a magnification of 2X, the true ASTM macro-grain size number is two numbers higher ( $Q = +2$ ), and for 4X, the true ASTM macro-grain size number is four numbers higher ( $Q = +4$ ) than that of the corresponding photograph.

10.13 The comparison procedure shall be applicable for estimating the austenite grain size in ferritic steel after a McQuaid-Ehn test (see Annex A3, A3.2), or after the austenite grains have been revealed by any other means (see Annex A3,

A3.3). Make the grain-size measurement by comparing the microscopic image, at magnification of 100X, with the standard grain size chart in Plate IV, for grains developed in a McQuaid-Ehn test (see Annex A3); for the measurement of austenite grains developed by other means (see Annex A3), measure by comparing the microscopic image with the plate having the most nearly comparable structure observed in Plates I, II, or IV.

10.14 The so-called “Shepherd Fracture Grain Size Method” of judging grain size from the appearance of the fracture of hardened steel (2), involves comparison of the specimen under investigation with a set of standard fractures.<sup>7</sup> It has been found that the arbitrarily numbered fracture grain size series agree well with the correspondingly numbered ASTM grain sizes presented in Table 4. This coincidence makes the fracture grain sizes interchangeable with the austenitic grain sizes determined microscopically. The sizes observed microscopically shall be considered the primary standard, since they can be determined with measuring instruments.

<sup>7</sup> A photograph of the Shepherd standard fractures can be obtained from ASTM Headquarters. Order Adjunct: ADJE011224.

TABLE 4 Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains

Grain Size No. G	$\bar{N}_A$ Grains/Unit Area		$\bar{A}$ Average Grain Area		$\bar{d}$ Average Diameter		$\bar{T}$ Mean Intercept		$\bar{N}_L$ No./mm
	No./in. <sup>2</sup> at 100X	No./mm <sup>2</sup> at 1X	mm <sup>2</sup>	μm <sup>2</sup>	mm	μm	mm	μm	
00	0.25	3.88	0.2581	258064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0456	45620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.00806	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	992.00	0.00101	1008	0.0318	31.8	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1984.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.0
10.5	724.08	11223.2	0.000089	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7	0.0060	5.9	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5792.62	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

11. Planimetric (or Jeffries') (3) Procedure

11.1 In the planimetric procedure inscribe a circle<sup>8</sup> or rectangle of known area (usually 5000 mm<sup>2</sup> to simplify the calculations) on a micrograph or on the ground-glass screen of the metallograph. Select a magnification which will give at least 50 grains in the field to be counted. When the image is focused properly, count the number of grains within this area. The sum of all the grains included completely within the known area plus one half the number of grains intersected by the circumference of the area gives the number of equivalent whole grains, measured at the magnification used, within the area. If this number is multiplied by the Jeffries' multiplier, *f*, in the second column of Table 5 opposite the appropriate magnification, the product will be the number of grains per square millimetre  $N_A$ . Count a minimum of three fields to ensure a reasonable average. The number of grains per square millimetre at 1X,  $N_A$ , is calculated from:

$$N_A = f \left( N_{\text{inside}} + \frac{N_{\text{intercepted}}}{2} \right) \tag{4}$$

where *f* is the Jeffries' multiplier (see Table 5),  $N_{\text{inside}}$  is the number of grains completely inside the test circle and  $N_{\text{intercepted}}$  is the number of grains that intercept the test circle. The average grain area,  $\bar{A}$ , is the reciprocal of  $N_A$ , that is,  $1/N_A$ , while the mean grain diameter,  $\bar{d}$ , as listed on Plate III (see 10.2.3), is the square root of  $\bar{A}$ . This grain diameter has no

<sup>8</sup> A transparent grid for the planimetric method is available from ASTM Headquarters. The transparency consists of two test circles, one with a diameter of 79.8 mm (5000 mm<sup>2</sup> area) and the other with a diameter of 159.6 mm (20 000 mm<sup>2</sup> area). Order Adjunct: ADJE011223.

TABLE 5 Relationship Between Magnification Used and Jeffries' Multiplier, *f*, for an Area of 5000 mm<sup>2</sup> (a Circle of 79.8-mm Diameter) (*f* = 0.0002 *M*<sup>2</sup>)

Magnification Used, <i>M</i>	Jeffries' Multiplier, <i>f</i> , to Obtain Grains/mm <sup>2</sup>
1	0.0002
10	0.02
25	0.125
50	0.5
75 <sup>A</sup>	1.125
100	2.0
150	4.5
200	8.0
250	12.5
300	18.0
500	50.0
750	112.5
1000	200.0

<sup>A</sup> At 75 diameters magnification, Jeffries' multiplier, *f*, becomes unity if the area used is 5625 mm<sup>2</sup> (a circle of 84.5-mm diameter).

physical significance because it represents the side of a square grain of area  $\bar{A}$ , and grain cross sections are not square.

11.2 To obtain an accurate count of the number of grains completely within the test circle and the number of grains intersecting the circle, it is necessary to mark off the grains on the template, for example, with a grease pencil or felt tip pen. The precision of the planimetric method is a function of the number of grains counted (see Section 19). The number of grains within the test circle, however, should not exceed about 100 as counting becomes tedious and inaccurate. Experience suggests that a magnification that produces about 50 grains within the test circle is about optimum as to counting accuracy per field. Because of the need to mark off the grains to obtain an accurate count, the planimetric method is less efficient than

the intercept method (see Section 12).

11.3 Fields should be chosen at random, without bias, as described in 5.2. Do not attempt to choose fields that appear to be typical. Choose the fields blindly and select them from different locations on the plane of polish.

11.4 By original definition, a microscopically-determined grain size of No. 1 has 1,000 grains/in.<sup>2</sup> at 100X, hence 15,500 grains/mm<sup>2</sup> at 1X. For areas other than the standard circle, determine the actual number of grains per square millimetre,  $N_A$ , and find the nearest size from Table 4. The ASTM grain size number,  $G$ , can be calculated from  $N_A$  (number of grains per mm<sup>2</sup> at 1X) using (Eq 1) in Table 6.

**12. General Intercept Procedures**

12.1 Intercept procedures are more convenient to use than the planimetric procedure. These procedures are amenable to use with various types of machine aids. It is strongly recommended that at least a manual tally counter be used with all intercept procedures in order to prevent normal errors in counting and to eliminate bias which may occur when counts appear to be running higher or lower than anticipated.

12.2 Intercept procedures are recommended particularly for all structures that depart from the uniform equiaxed form. For anisotropic structures, procedures are available either to make separate size estimates in each of the three principal directions, or to rationally estimate the average size, as may be appropriate.

12.3 There is no direct mathematical relationship between the ASTM grain size number,  $G$ , and the mean lineal intercept, unlike the exact relationship between  $G$ ,  $N_{AE}$ ,  $N_A$  and  $\bar{A}$  (Eq 1) for the planimetric method. The relationship

$$\ell = \left(\frac{\pi}{4} \bar{A}\right)^{1/2} \tag{5}$$

between the mean lineal intercept,  $\ell$ , and the average grain area,  $\bar{A}$ , is exact for circles but not quite exact for a structure of uniform equiaxed grains (see A2.2.2). Consequently, the relationship between the ASTM grain size number  $G$  and the mean lineal intercept has been defined so that ASTM No. 0 has a mean intercept size of precisely 32.00 mm for the macroscopically determined grain size scale and of 32.00 mm on a field of view at 100X magnification for the microscopically determined grain size scale. Thus:

$$G = 2\log_2 \frac{\ell_0}{\ell} \tag{6}$$

**TABLE 6 Grain Size Equations Relating Measured Parameters to the Microscopically Determined ASTM Grain Size,  $G$**

NOTE 1—Determine the ASTM Grain Size,  $G$ , using the following equations:

NOTE 2—The second and third equations are for single phase grain structures.

NOTE 3—To convert micrometres to millimetres, divide by 1000.

NOTE 4—A calculated  $G$  value of  $-1$  corresponds to ASTM  $G = 00$ .

Equation	Units
$G = (3.321928 \log_{10} \bar{N}_A) - 2.954$	$N_A$ in mm <sup>-2</sup>
$G = (6.643856 \log_{10} N_L) - 3.288$	$N_L$ in mm <sup>-1</sup>
$G = (6.643856 \log_{10} P_L) - 3.288$	$P_L$ in mm <sup>-1</sup>
$G = (-6.643856 \log_{10} \ell) - 3.288$	$\ell$ in mm

$$G = 10.00 - 2\log_2 \ell \tag{7}$$

$$G = 10.00 + 2\log_2 \bar{N}_L \tag{8}$$

where  $\ell_0$  is 32 mm and  $\bar{N}_L$  and  $\bar{N}_L$  are in millimetres at 1X or number of intercepts per mm for the macroscopically determined grain size numbers and in millimetres or number per mm on a field at 100X for the microscopically determined grain size numbers. Using this scale, measured grain size numbers are within about 0.01  $G$  units of grain size numbers determined by the planimetric method, that is, well within the precision of the test methods. Additional details concerning grain size relationships are given in Annex A1 and Annex A2.

12.4 The mean intercept distance,  $\bar{\ell}$ , measured on a plane section is an unbiased estimate of the mean intercept distance within the solid material in the direction, or over the range of directions, measured. The grain boundary surface area-to-volume ratio is given exactly by  $S_v = 2 N_L$  when  $N_L$  is averaged over three dimensions. These relations are independent of grain shape.

**13. Heyn (4) Lineal Intercept Procedure**

13.1 Estimate the average grain size by counting (on the ground-glass screen, on a photomicrograph of a representative field of the specimen, or on the specimen itself) the number of grains intercepted by one or more straight lines sufficiently long to yield at least 50 intercepts. It is desirable to select a combination of test line length and magnification such that a single field will yield the required number of intercepts. One such test will nominally allow estimation of grain size to the nearest whole ASTM size number, at the location tested. Additional lines, in a predetermined array, should be counted to obtain the precision required. The precision of grain size estimates by the intercept method is a function of the number of grain interceptions counted (see Section 19). Because the ends of straight test lines will usually lie inside grains (see 14.3), precision will be reduced if the average count per test line is low. If possible, use either a longer test line or a lower magnification.

13.2 Make counts first on three to five blindly selected and widely separated fields to obtain a reasonable average for the specimen. If the apparent precision of this average (calculated as indicated in Section 15) is not adequate, make counts on sufficient additional fields to obtain the precision required for the specimen average.

13.3 An *intercept* is a segment of test line overlaying one grain. An *intersection* is a point where a test line is cut by a grain boundary. Either may be counted, with identical results in a single phase material. When counting intercepts, segments at the end of a test line which penetrate into a grain are scored as half intercepts. When counting intersections, the end points of a test line are not intersections and are not counted except when the end appears to exactly touch a grain boundary, when 1/2 intersection should be scored. A tangential intersection with a grain boundary should be scored as one intersection. An intersection apparently coinciding with the junction of three grains should be scored as 1 1/2. With irregular grain shapes, the test line may generate two intersections with different parts of the same grain, together with a third intersection with the

most suitable for use as fixed routine manual procedures for grain size estimation in quality control.

#### 14.2 Hilliard Single-Circle Procedure (6) :

14.2.1 When the grain shape is not equiaxed but is distorted by deformation or other processes, obtaining an average lineal intercept value using straight test lines requires averaging of values made at a variety of orientations. If this is not done carefully, bias may be introduced. Use of a circle as the test line eliminates this problem as the circle will test all orientations equally and without bias.

14.2.2 Any circle size of exactly known circumference may be used. Circumferences of 100, 200, or 250 mm are usually convenient. The test circle diameter should never be smaller than the largest observed grains. If the test circle is smaller than about three times the mean lineal intercept, the distribution of the number of intercepts or intersections per field will not be Gaussian. Also, use of small test circles is rather inefficient as a great many fields must be evaluated to obtain a high degree of precision. A small reference mark is usually placed at the top of the circle to indicate the place to start and stop the count. Blindly apply the selected circle to the microscope image at a convenient known magnification and count the number of grain boundaries intersecting the circle for each application. Apply the circle only once to each field of view, adding fields in a representative manner, until sufficient counts are obtained to yield the required precision. The variation in counts per test circle application decreases as the circle size increases and, of course, is affected by the uniformity of the grain size distribution.

14.2.3 As with all intercept procedures, the precision of the measurement increases as the number of counts increases (see Section 19). The precision is based on the standard deviation of the counts of the number of intercepts or intersections per field. In general, for a given grain structure, the standard deviation is improved as the count per circle application and the total count (that is, the number of applications) increase. Hilliard recommended test conditions that produce about 35 counts per circle with the test circle applied blindly over as large a specimen area as feasible until the desired total number of counts is obtained.

#### 14.3 Abrams Three-Circle Procedure (7) :

14.3.1 Based on an experimental finding that a total of 500 counts per specimen normally yields acceptable precision, Abrams developed a specific procedure for routine average grain size rating of commercial steels. Use of the chi-square test on real data demonstrated that the variation of intercept counts is close to normal, allowing the observations to be treated by the statistics of normal distributions. Thus both a measure of variability and the confidence limit of the result are computed for each average grain size determination.

14.3.2 The test pattern consists of three concentric and equally spaced circles having a total circumference of 500 mm, as shown in Fig. 5. Successively apply this pattern to at least five blindly selected and widely spaced fields, separately recording the count of intersections per pattern for each of the tests. Then, determine the mean lineal intercept, its standard deviation, 95 % confidence limit, and percent relative accuracy. For most work, a relative accuracy of 10 % or less represents

an acceptable degree of precision. If the calculated relative accuracy is unacceptable for the application, count additional fields until the calculated percent relative accuracy is acceptable. The specific procedure is as follows:

14.3.2.1 Examine the grain structure and select a magnification that will yield from 40 to 100 intercepts or intersection counts per placement of the three circle test grid. Because our goal is to obtain a total of about 400 to 500 counts, the ideal magnification is that which yields about 100 counts per placement. However, as the count per placement increases from 40 to 100, errors in counting become more likely. Because the grain structure will vary somewhat from field to field, at least five widely spaced fields should be selected. Some metallographers feel more comfortable counting 10 fields with about 40 to 50 counts per field. For most grain structures, a total count of 400 to 500 intercepts or intersections over 5 to 10 fields produces better than 10 % relative accuracy. Fig. 6 shows the relationship between the average intercept count and the microscopically determined ASTM grain size number as a function of magnification.

14.3.2.2 Blindly select one field for measurement and apply the test pattern to the image. A transparency of the pattern may be applied directly to the ground glass, or to a photomicrograph when permanent records are desired. Direct counting using a properly sized reticle in the eyepiece is allowable, but it may here be expected that some operators will find difficulty in counting correctly at the count density recommended. Completely count each circle in turn, using a manually operated counter to accumulate the total number of grain boundary intersections with the test pattern. The manual counter is necessary to avoid bias toward unreal agreement between applications or toward a desired result, and to minimize memory errors. The operator should avoid keeping a mental score. When a tally counter is used, score any intersection of the circle with the junction of three grains as two rather than the correct value of 1½; the error introduced is very small.

14.3.3 For each field count, calculate  $N_L$  or  $P_L$  according to:

$$\bar{N}_L = \frac{N_i}{L/M} \quad (9)$$

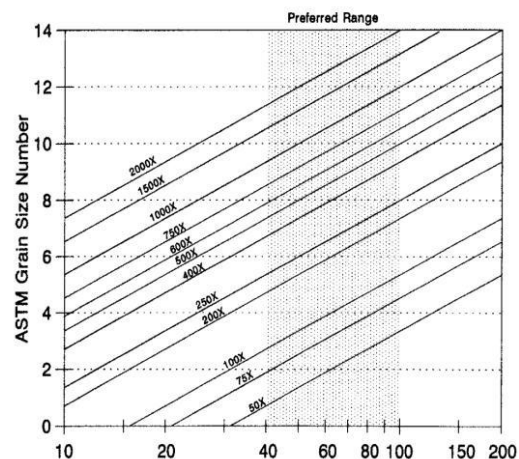


FIG. 6 Average Intercept Counts on 500 mm Test Pattern

## Anexo 17

Diagrama eléctrico del sistema de control mediante el controlador de temperatura tipo  
E5CN OMRON

## Anexo 18

### Componentes electrónicos

ÍTEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	AD595
2	1	Transformador
3	1	Baquelita
4	3	Borneras
5	1	Caja
6	2	Capacitor 100uf
7	1	Capacitor 2200uf
8	7	Capacitor de 10uf
9	3	Capacitores 100nf
10	3	Diodo led
11	1	Diodo zener 5,1v
12	2	Diodos 1n4148
13	1	Hoja de transferencia
14	1	Pic 16f819
15	2	Potenciómetros
16	1	Puente de diodos 3 <sup>a</sup>
17	1	Regulador 7805
18	1	Regulador 7812
19	2	Relé liming
20	14	Resistencias
21	2	Transistores 2n2222
22	2	Zócalos



## Anexo 19

Diagrama eléctrico del sistema de control con la placa electrónica.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**ENTREVISTA DIRIGIDA A DOCENTES Y AYUDANTE DEL**

**LABORATORIO DE MATERIALES**

Investigador: **Jaime Toasa**

**PREGUNTA N° 1**

¿Qué tipos de tratamientos térmicos del acero se realiza en el horno eléctrico tipo mufla?

-Temple

-Revenido

-Normalizado

-Recocido

-Austempering

-Ensayo Jominy

**OBSERVACIONES:**

---

---

---

PREGUNTA N° 2

¿Qué rango de temperatura generalmente trabaja el horno para realizar tratamientos térmicos en el acero?

100 °C - 200 °C

200 °C - 400 °C

400 °C - 600 °C

600 °C - 800 °C

800 °C - 1000 °C

1000 °C - 1200 °C

OBSERVACIONES:

---

---

---

PREGUNTA N° 3

3.- ¿Qué tipos de aceros se utilizan en el laboratorio para realizar tratamientos térmicos?

-AISI 1018

-AISI 1020

-AISI 1040

-AISI 01 (DF2)

OBSERVACIONES:

---

---

---

PREGUNTA N° 4

¿Qué dimensión tienen las probetas usadas comúnmente para realizar los ensayos de tratamientos térmicos?

---

---

---

5.-¿Con que frecuencia se realizan ensayos de tratamientos térmicos con los estudiantes en el Laboratorio ?

- 1 – 5 Veces por semestre
- 5 – 10 Veces por semestre
- 10 – 20 Veces por semestre

Observaciones :

---

---

---

## Anexo 21

### Tipos de Electroodos

En la siguiente tabla se presentan las propiedades de los electrodos y le ayude como guía para poder elegir el electrodo correcto para su trabajo a realizar.

Clasificación AWS	Tipo de Revestimiento	Corriente y Polaridad	Posición a soldar
E-6010	Celulósico Sódico	CC.EP.	P.V.SC.H.
E-6011	Celulósico Potásico	CA.CC.EP.	P.V.SC.H.
E-6012	Rutilico Sódico	CA.CC.EN.	P.V.SC.H.
E-6013	Rutilico Potásico	CA.CC.AP.	P.V.SC.H.
E-7014	Rutilico H.P.	CA.CC.AP.	P.V.SC.H.
E-7015	Rutilico Sódico B.H.	CC.EP.	P.V.SC.H.
E-7016	Rutilico Potásico B.H.	CA.CC.EP.	P.V.SC.H.
E-7018	Rutilico Potásico B.H.-H.P.	CA.CC.EP.	P.V.SC.H.
E-6020	Oxido de Hierro	CA.CC.AP.	P.H. Filete
E-7024	Rutilico H.P.	CA.CC.AP.	P.H. Filete
E-7027	Oxido de Hierro H.P.	CA.CC.AP.	P.H. Filete
Nomenclatura	CC: Corriente Continua	EP: Electrodo Positivo	P: Plana
HP: Hierro en Polvo	CA: Corriente Alterna	EN: Electrodo Negativo	V: Vertical
BH: Bajo Hidrógeno	AP: Ambas Polaridades	SC: Sobrecabeza	H: Horizontal

# Planos