

**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO**

**CARRERA MECÁNICA AERONÁUTICA**

**“GUÍA DE PRÁCTICAS PARA LABORATORIO BÁSICO DE  
METALOGRAFÍA IMPLEMENTADO EN EL I.T.S.A.”**

**POR:**

**REYES GALLARDO PABLO FRANCISCO**

**Proyecto de Grado como requisito parcial para la obtención del Título**

**de:**

**TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA**

**2006**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue realizado por el señor **REYES GALLARDO PABLO FRANCISCO** como requerimiento parcial a la obtención de título de **TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA**.

-----  
**ING. DAG BASSANTES.**

**Director**

Latacunga, 27 de Noviembre del 2006

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios que me ha dado salud y fuerzas para llegar a obtener esta tan gratificante profesión y por bendecirme con mis buenos padres.

A mi papá y mi mamá que me dieron la vida y me apoyaron en los buenos y malos momentos.

Y también a mis hermanos quienes me dieron ánimos para continuar estudiando y terminar mi carrera en esta ciudad tan distante de mi hogar.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi profundo agradecimiento a todo el personal docente que conforma esta prestigiosa institución que es el ITSA, quienes con su preparación académica han sabido guiarnos para que podamos desarrollarnos profesionalmente.

Un agradecimiento especial a las personas que colaboraron con sus conocimientos para el desarrollo del presente proyecto como son. Ing. Dag Bassantes, e Ing. Mario Pástor.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<b>Página</b>
<b>CERTIFICADO.....</b>	<b>II</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS.....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>XIX</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>XX</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS.....</b>	<b>XXII</b>

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

RESUMEN.....	1
1.1 GENERALIDADES.....	2
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4 OBJETIVOS.....	3
1.4.1 Objetivo general.....	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
1.5 ALCANCE.....	4

**CAPÍTULO II**  
**MATERIALES**

2.1 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.....	6
2.1.1 Propiedades mecánicas.....	6
2.1.1.1 Resistencia Mecánica.....	6
2.1.1.1.1 Resistencia a la Tracción.....	6
2.1.1.1.2 Resistencia a la Compresión.....	6
2.1.1.1.3 Resistencia a la Flexión.....	6
2.1.1.1.4 Resistencia a la Torsión.....	7
2.1.1.1.5 Resistencia al Corte.....	7
2.1.1.2 Dureza.....	7
2.1.1.2.1 Escala de Dureza Mohs.....	7
2.1.1.3 Resistencia al Desgaste.....	8
2.1.1.3.1 Desgaste por Abrasión.....	8
2.1.1.3.2 Desgaste por Erosión.....	8
2.1.1.3.3 Desgaste por Cavitación.....	8
2.1.1.3.4 Desgaste por Corrosión.....	8
2.1.1.4 Resistencia al Impacto (tenacidad).....	9
2.1.1.5 Resistencia a cargas cíclicas (Fatiga Mecánica).....	9
2.1.2 Propiedades físicas.....	9
2.1.2.1 Densidad.....	9
2.1.2.2 Punto de Fusión.....	9
2.1.2.3 Conductividad Térmica.....	10
2.1.2.4 Conductividad Eléctrica.....	10
2.1.2.5 Magnetismo.....	10

2.1.3 Propiedades tecnológicas.....	10
2.1.3.1 Mecánicas.....	10
2.1.3.1.1 Ductilidad.....	10
2.1.3.1.2 Maleabilidad.....	11
2.1.3.1.3 Fragilidad.....	11
2.1.3.2 Físicas.....	11
2.1.3.2.1 Inflamabilidad.....	11
2.1.3.2. Choque Térmico (Fatiga Térmica).....	11
2.1.3.2.3 Fusibilidad.....	11
2.2 METALES FERROSOS Y NO FERROSOS.....	12
2.2.1 Metales ferrosos.....	12
2.2.1.1 Aceros.....	12
2.2.1.1.1 Acero bajo en carbono.....	12
2.2.1.1.2 Acero medio en carbono.....	13
2.2.1.1.3 Acero alto en carbono.....	13
2.2.1.1.4 Aleaciones de acero.....	13
2.2.1.1.4.1 Aceros al cromo.....	13
2.2.1.1.4.2 Aceros al cromo-níquel.....	14
2.2.1.1.4.3 Aceros al cromo-molibdeno.....	14
2.2.1.1.4.4 Aceros al cromo-níquel molibdeno.....	14
2.2.1.1.4.5 Aceros inoxidables.....	15
2.2.1.1.5 También existe otra clasificación de los aceros al carbono (sin alear) según su contenido en carbono.....	15
2.2.1.1.5.1 Los aceros hipoeutectoides.....	15

2.2.1.1.5.2 Los aceros eutectoides.....	16
2.2.1.1.5.3 Los aceros hipereutectoides.....	16
2.2.1.2 Hierro fundido.....	16
2.2.1.2.1 Tipos De Fundición.....	16
2.2.1.2.1.1 Fundición blanca.....	18
2.2.1.2.1.2 Fundición maleable.....	18
2.2.1.2.1.3 Fundición gris.....	19
2.2.1.2.1.4 Fundición dúctil o nodular.....	19
2.2.1.2.1.5 Fundición en coquilla.....	20
2.2.1.2.1.6 Fundición aleada.....	21
2.2.1.2.2 Aplicaciones.....	21
2.2.2 Metales no ferrosos.....	22
2.2.2.1 Aluminio.....	22
2.2.2.1.1 Características y propiedades.....	23
2.2.2.1.2 Aleaciones de aluminio.....	23
2.2.2.1.2.1 Aleantes del aluminio y clasificación de las aleacione.....	23
2.2.2.1.2.2 Clasificación del aluminio y sus aleaciones.....	24
2.2.2.1.2.3 Aleaciones ligeras de aluminio (en las que el aluminio es el elemento principal).....	25
2.2.2.1.2.4 Aleaciones para moldeo sin tratamiento térmico.....	25
2.2.2.1.2.4.1 Aleaciones Al – Cu.....	25
2.2.2.1.2.5 Aleaciones de aluminio para moldes-susceptibles de tratamiento térmico.....	26
2.2.2.1.2.5.1 Al – Si – Mn – Mg.....	26
2.2.2.1.2.6 Aleaciones para forja y laminación sin tratamiento térmico.....	26



2.2.2.1.2.6.1 Al – Mn.....	26
2.2.2.1.2.6.2 Al – Mn – Mg.....	26
2.2.2.1.2.7 Duralinox (Al – Mg – Mn).....	26
2.2.2.1.2.8 Aleaciones de aluminio para forja y laminación susceptibles de tratamiento térmico.....	27
2.2.2.1.2.8.1 Al – Mg – Si.....	27
2.2.2.1.2.9 Duraluminio (4.4% Cu - 1.5% Mg – 06% Mn).....	27
2.2.2.1.3 Aplicaciones.....	28
2.2.2.1.4 Precauciones.....	29
2.2.2.2 Cobre.....	30
2.2.2.2.1 Características y propiedades.....	30
2.2.2.2.2 Aleaciones de Cobre.....	31
2.2.2.2.2.1 Latones.....	31
2.2.2.2.2.1.1 Latones ordinarios.....	31
2.2.2.2.2.1.2 Latones especiales.....	32
2.2.2.2.2.1.2.1. Latones al plomo.....	32
2.2.2.2.2.1.2.2. Latones al hierro o metales delta (55 % de Cu, 42 % de Zn, 1,5 % de Fe, 1 % de Mn).....	32
2.2.2.2.2.1.2.3. Latones al manganeso.....	33
2.2.2.2.2.1.2.4. Latones al estaño.....	33
2.2.2.2.2.2 Bronces.....	33
2.2.2.2.2.1 Bronces ordinarios.....	33
2.2.2.2.2.2 Bronces especiales.....	34
2.2.2.2.2.2.1 Bronces al cinc.....	34
2.2.2.2.2.2.2 Bronces al plomo.....	34

2.2.2.2.2.2.3. Bronces fosforosos.....	34
2.2.2.2.3 Platas Alemanas (Malecorts).....	35
2.2.2.2.3 Aplicaciones).....	35
2.2.2.2.4 Precauciones.....	35
2.2.2.3 Cinc.....	36
2.2.2.3.1 Características y propiedades.....	36
2.2.2.3.2 Aleaciones.....	36
2.2.2.3.3 Aplicaciones.....	37
2.2.2.3.4 Precauciones.....	37
2.3 TRATAMIENTOS TÉRMICOS PARA MATERIALES FERROSOS (ACERO).....	38
2.3.1 Temple).....	38
2.3.1.1 El tamaño de la pieza).....	38
2.3.1.2 La composición química del acero).....	38
2.3.1.3 El tamaño del grano.....	38
2.3.1.4 El medio de enfriamiento.....	39
2.3.2 Revenido.....	39
2.3.3 Recocido.....	41
2.3.4 Normalizado.....	41
2.4 TRATAMIENTOS TERMOQUÍMICOS.....	42
2.4.1 Definición.....	42
2.4.2 Carburado, nitrurado y cianurado.....	42
2.4.2.1 Carburado.....	42
2.4.2.2 Nitrurado.....	43
2.4.2.2.1 Aplicaciones.....	44

2.4.2.2.2 Ventajas.....	44
2.4.2.3 Cianurado.....	45
2.5 METALOGRAFÍA.....	45
2.5.1 Introducción.....	45
2.5.2 Ensayos metalográficos.....	45
2.5.2.1 Desbaste.....	45
2.5.2.2 Pulido.....	46
2.5.2.3 Ataque químico.....	47
2.5.2.4 Examen micrográfico.....	51
2.5.2.4.1 Examen metalográfico a las probetas SAE 1015 y SAE 1045.....	53
2.6 EQUIPOS DE LABORATORIO.....	54

### **CAPÍTULO III**

#### **LABORATORIO DE METALOGRAFÍA**

3.1 INSTALACIÓN DE LABORATORIO.....	58
3.1.1 Generalidades sobre el local.....	59
3.1.1.1 Techos.....	59
3.1.1.2 Suelos.....	60
3.1.1.3 Puesto de trabajo.....	60
3.1.1.4 Elementos vidriados.....	63
3.1.1.5 Ventanas.....	63
3.1.1.6 Entrada y salida del laboratorio.....	64
3.1.1.7 Materiales y acabados.....	64
3.1.1.8 Color del techo, paredes, suelo y mobiliario.....	66
3.1.1.9 Ventilación.....	67

3.1.2.10 Iluminación.....	67
3.2 NORMAS DE SEGURIDAD DE LABORATORIO.....	68
3.2.1 Introducción.....	68
3.2.2 Normas personales.....	69
3.2.3 Normas utilización de productos químicos.....	69
3.3 LABORATORIO DE METALOGRAFÍA DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.....	70
3.3.1 Descripción.....	70

## **CAPÍTULO IV**

### **ESTUDIO ECONÓMICO**

4.1 PRESUPUESTO.....	78
4.2 ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO.....	78

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1 CONCLUSIONES.....	82
5.2 RECOMENDACIONES.....	82

## CAPÍTULO VI

### PROPUESTA DE LABORATORIO Y GUÍA DE PRÁCTICAS PARA LABORATORIO BÁSICO DE METALOGRAFÍA

6.1 PROPUESTA DE LABORATORIO.....	84
6.1.1 INTRODUCCIÓN.....	84
6.1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	85
6.1.3 JUSTIFICACIÓN.....	85
6.1.4 OBJETIVOS.....	85
6.1.4.1 Objetivo general.....	85
6.1.5 ALCANCE.....	86
6.1.6 MARCO TEÓRICO.....	87
6.1.6.1 Materiales.....	87
6.1.6.2 Metales ferrosos y no ferrosos.....	88
6.1.6.3 Tratamiento térmico para materiales ferrosos (aceros).....	88
6.1.6.3.1 Temple.....	89
6.1.6.3.2 Revenido.....	89
6.1.6.3.3 Recocido.....	89
6.1.6.3.4 Normalizado.....	89
6.1.6.4 Tratamientos termoquímicos para materiales ferrosos (aceros).....	90
6.1.6.4.1 Cementación).....	90
6.1.6.4.2 Nitruración).....	90
6.1.6.4.3 Cianuración).....	90
6.1.6.5 Metalografía.....	90
6.1.6.5.1 Desbaste.....	91
6.1.6.5.2 Pulido.....	91

6.1.6.5.3 Ataque químico.....	91
6.1.6.5.4 Examen micrográfico.....	91
6.1.7 Equipos de laboratorio.....	92
6.1.8 Laboratorio de Metalografía.....	92
6.1.8.1 Instalación de laboratorio.....	92
6.1.8.1.1 Generalidades sobre el local.....	93
6.1.8.1.1.1 Techos.....	93
6.1.8.1.1.2 Suelos.....	93
6.1.8.1.1.3 Puesto de trabajo.....	93
6.1.8.1.1.4 Elementos vidriados.....	93
6.1.8.1.1.5 Entrada y salida del laboratorio.....	94
6.1.8.1.1.6 Ventanas.....	94
6.1.8.1.1.7 Materiales y acabados.....	94
6.1.8.1.1.8 Color del techo, paredes, suelo y mobiliario.....	95
6.1.8.1.1.9 Ventilación.....	95
6.1.8.1.1.10 Iluminación.....	95
6.1.8.2 Normas de seguridad de laboratorio.....	96
6.1.8.2.1 Introducción.....	96
6.1.8.2.2 Normas personales.....	96
6.1.8.2.3 Normas utilización de productos químicos.....	96
6.1.8.3 Laboratorio de metalografía de la Escuela Politécnica Nacional.....	97
6.1.8.3.1 Descripción.....	97
6.1.9 ESTUDIO ECONÓMICO.....	97
6.1.10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	98
6.1.10.1 CONCLUSIONES.....	98

6.1.10.2 RECOMENDACIONES.....	99
6.2 GUÍA DE PRÁCTICAS PARA LABORATORIO BÁSICO DE METALOGRAFÍA.....	100
PRÁCTICA I	
6.2.1. Materiales.....	100
6.2.1.1 Objetivos.....	100
6.2.1.2 Marco teórico.....	100
6.2.1.2.1 Materiales.....	100
6.2.1.3 Materiales y Equipos.....	102
6.2.1.3.1 Materiales.....	102
6.2.1.3.2 Herramientas y equipos.....	102
6.2.1.4 Procedimiento de la práctica.....	102
6.2.1.4.1 Dureza.....	102
6.2.1.4.2 Conductividad Eléctrica.....	103
6.2.1.4.3 Magnetismo.....	103
6.2.1.4.4 Choque Térmico.....	103
6.2.1.4.5 Fusibilidad.....	103
6.2.1.4.6 Conductividad térmica.....	104
6.2.1.4.7 Tenacidad.....	104
6.2.1.4.8 Inflamabilidad.....	104
6.2.1.5 Bibliografía.....	104
6.2.1.6 Informe.....	104
PRÁCTICA II	
6.2.2. Preparación de probetas metalográficas.....	106
6.2.2.1 Objetivos.....	106

6.2.2.2 Marco teórico.....	106
6.2.2.2.1 Preparación de la muestra metalográfica.....	106
6.2.2.2.1.1 Toma de muestra.....	106
6.2.2.2.1.2 Desbaste grueso.....	107
6.2.2.2.1.3 Desbaste Fino.....	107
6.2.2.2.1.4 Pulido grueso.....	108
6.2.2.2.1.5 Pulido Fino.....	108
6.2.2.2.1.6 Montaje.....	109
6.2.2.2.1.7 Pulido intermedio.....	111
6.2.2.3 Materiales y Equipos.....	111
6.2.2.3.1 Materiales.....	111
6.2.2.3.2 Equipos y herramientas.....	112
6.2.2.4 Procedimiento de la práctica.....	112
6.2.2.5 Bibliografía.....	114
6.2.2.6 Informe.....	114
<b>PRÁCTICA III</b>	
6.2.3. Ataque químico.....	115
6.2.3.1 Objetivos.....	115
6.2.3.2 Marco teórico.....	115
6.2.3.2.1 Ataque Químico.....	115
6.2.3.2.2 Manejo de reactivos.....	116
6.2.3.3 Materiales y Equipos.....	117
6.2.3.3.1 Materiales.....	117
6.2.3.3.2 Equipos y herramientas.....	118
6.2.3.4 Procedimiento de la práctica.....	118



6.2.3.4.1 Primero.....	118
6.2.3.4.2 Para probetas montadas en materiales termoplásticos.....	119
6.2.3.4.3 Una vez completamente limpia.....	119
6.2.3.4.4 Luego de ser atacada la probeta.....	121
6.2.3.4.5 Después de ser atacada la probeta.....	121
6.2.3.4.6 En el caso de probetas montadas cuyos montajes son afectados por el alcohol hirviente.....	121
6.2.3.4.7 Y último paso.....	122
6.2.3.5 Bibliografía.....	122
6.2.3.6 Informe.....	122
<b>PRÁCTICA IV</b>	
6.2.4 Tratamientos térmicos para una muestra de acero (normalizado, recocido y templado).....	124
6.2.4.1 Objetivos.....	124
6.2.4.2 Marco Teórico.....	124
6.2.4.2.1 Tipos de enfriamiento.....	124
6.2.4.2.2 Principales tratamientos térmicos que se aplican a una muestra de acero.....	125
6.2.4.2.2.1 Recocido.....	125
6.2.4.2.2.1.1 Recocido total.....	126
6.2.4.2.2.1.2 Recocido de esferoidización.....	126
6.2.4.2.2.1.3 Recocido para la eliminación de esfuerzos.....	126
6.2.4.2.2.1.4 Recocido de proceso.....	127
6.2.4.2.2.2 Normalizado.....	127
6.2.4.2.2.3 Templado.....	128

6.2.4.2.2.4 Revenido.....	129
6.2.4.2.2.5 Temperatura Vs. Fe – C.....	130
6.2.4.3 Materiales y Equipos.....	131
6.2.4.3.1 Materiales.....	131
6.2.4.3.2 Equipos y herramientas.....	131
6.2.4.4 Procedimiento de la práctica.....	132
6.2.4.4.1 Recocido y normalizado.....	132
6.2.4.4.2 Enfriamiento.....	132
6.2.4.4.3 Templado de Jominy.....	133
6.2.4.4.4 Revenido.....	133
6.2.4.4.5 Lijado y pulido.....	133
6.2.4.4.6 Ataque químico.....	134
6.2.4.5 Bibliografía.....	135
6.2.4.6 Informe.....	135

## **BIBLIOGRAFÍA.**

## **ANEXOS**

## LISTA DE TABLAS

### CAPÍTULO II

#### Página

Tabla.2.1 Reactivos de ataque para hierro, aceros y hierros colados.....	48
Tabla 2.2 Reactivos de ataque para Aluminio y sus aleaciones.....	48
Tabla 2.3 Reactivos de ataque para Cobre y sus aleaciones.....	49
Tabla 2.4 Reactivos de ataque para Cinc y sus aleaciones.....	50
Tabla 2.5 Reactivos de ataque para aleaciones misceláneas.....	51

### CAPÍTULO III

Tabla 3.1 Compatibilidad de colores.....	66
Tabla 3.2 Niveles de iluminación.....	68

### CAPÍTULO VI

Tabla 6.1 Tabla 6.1 Reactivos de ataque para aceros de bajo, medio y alto carbono, aleaciones de aluminio, cobre, zinc.....	120
Tabla 6.2 Temperaturas recomendadas para diferentes tratamientos térmicos.....	131

## LISTADO DE FIGURAS

### CAPÍTULO II

	<b>Página</b>
Fig. 2.1 Hoja recién revenida.....	40
Fig. 2.2 Montaje de una probeta para examen bajo el microscopio.....	52
Fig. 2.3 Acero SAE 1015.....	53
Fig. 2.4 Acero SAE 1045.....	53
Fig. 2.5 Cortadora de muestras metalográficas.....	54
Fig. 2.6 Equipo de montaje para probetas metalográficas (automático).....	54
Fig. 2.7 Equipo de montaje para probetas (Manual).....	55
Fig. 2.8 Mesa de desbaste.....	55
Fig. 2.9 Máquina de pulido con sistema de regulación de velocidades de 150 a 300 revoluciones.....	56
Fig. 2.10 Reactivos para el ataque químico.....	56
Fig. 2.11 Microscopio metalográfico con software de sistema de video.....	57

### CAPÍTULO III

Fig. 3.1 Trabajo sentado en el laboratorio. Distancias y alcances adecuados para mujer (izquierda) y hombre (derecha).....	61
Fig. 3.2 Área de trabajo sobre una mesa.....	62
Fig. 3.3 horno de mufla.....	71
Fig. 3.4 kit para ataque químico.....	71
Fig. 3.5 Máquina eléctrica para pulir las probetas.....	72

Fig. 3.6 Mesas de desbaste.....	72
Fig. 3.7 Cortadora de probetas metalográficas.....	73
Fig. 3.8 Pulidoras eléctricas.....	73
Fig. 3.9 Mesa con dos prensas manuales.....	74
Fig. 3.10 Pizarrón.....	74
Fig. 3.11 Mesa central.....	75
Fig. 3.12 Microscopio y cuadro de microestructuras.....	75
Fig. 3.13 Mecheros bunsen.....	76
Fig. 3.14 Cilindro de gas.....	76
Fig. 3.15 Microscopios metalográficos.....	77
Fig. 3.16 Durómetro.....	77

## **CAPÍTULO VI**

Fig. 6.1 Forma esquemática como se van eliminando las superficies.....	108
Fig. 6.2 Equipo de Jominy.....	129
Fig. 6.3 Diagrama temperatura Vs. Fe – C.....	130

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Abrasión:** Proceso de frotar, esmerilar o gastar por fricción.

**Abrasivo:** Sustancia utilizada para esmerilar, bruñir, lapear, supernar, pulir, chorros a presión o terminado por tratamiento en cilindros giratorios. Incluye materiales naturales, como granate, esmeril, corindón, diamante y productos de horno eléctrico, como óxido de aluminio, carburo de silicio y carburo de boro.

**Alclad:** Lámina compuesta producida al enlazar ya sea una aleación al aluminio resistente a la corrosión o aluminio de alta pureza al metal base de una aleación al aluminio estructuralmente más fuerte.

**Adherencia:** Detención de una pieza en movimiento por una superficie de apareamiento, como resultado de excesiva fricción producida por soldar las piezas en contacto.

**Aleación:** Sustancia con propiedades mecánicas y compuestas por dos o más elementos químicos, de los cuales uno por lo menos es un metal elemental.

**Ataque químico:** El que sufre la superficie de un metal en virtud de la acción química o electrolítica preferencial a fin de revelar detalles estructurales.

**Austenita:** Solución sólida de uno o más elementos en hierro cúbico centrado en la cara. En general, se supone que el carbono es el soluble.

**Carburizar:** Introducir carbono a una aleación sólida ferrosa manteniéndola por arriba de  $A_{c1}$ , en contacto con un material carbonoso adecuado, el cual puede ser un sólido, un líquido o un gas, la aleación carburizada generalmente se endurece por temple.

**Carburo:** Compuesto de carbono con uno o más elementos metálicos.

**Cementita:** Compuesto de hierro y carbono conocido químicamente como carburo de hierro, se caracteriza por una estructura cristalina ortorrómbica.

**Cianuración:** Introducir carbono y nitrógeno dentro de una aleación sólida ferrosa, manteniéndola por encima de  $A_{c1}$ , en contacto con cianuro fundido de una composición adecuada, la aleación cianurada generalmente se endurece por temple.

**Corrosión:** Deterioración de un metal mediante reacción química o electroquímica con su ambiente.

**Difusión:** a) Esparcimiento de un constituyente en un gas, líquido o sólido, tendiente a uniformizar la concentración de todas las partes, b) Movimiento espontáneo de átomos y moléculas a nuevos sitios dentro de un material.

**Ductilidad:** Capacidad de un material para deformarse plásticamente sin fracturarse.

**Duraluminio:** Término en desuso, inicialmente aplicado al tipo de aleaciones de aluminio – cobre endurecibles por envejecimiento que contienen manganeso, magnesio osilicio.

**Ferrita:** Solución sólida de uno o más elementos en hierro cúbico centrado en el cuerpo. A menos que se designe lo contrario, en general se supone que el soluble es el carbono. En algunos diagramas de equilibrio hay dos regiones ferríticas, separados por un área austenítica. El área ferrita inferior es alfa, en tanto que la superior es ferrita delta, si no hay designación, se supone que es ferrita alfa.

**Martensita:** a) Es una aleación, estructura metaestable transicional intermedia entre dos modificaciones alotrópicas cuyas capacidades para disolver un soluble dado difieren considerablemente su fase de alta temperatura es de mayor solubilidad la cantidad de la fase de alta temperatura transformada a martensita depende en mucho de la temperatura lograda en el enfriamiento, habiendo más bien una temperatura de principio distinta, b) Fase metaestable del acero formada por una transformación de austenita inferior a la temperatura  $M_s$ . Es una solución sólida intersticial sobresaturada de carbono en hierro, con una red tetragonal centrada en el cuerpo. Su microestructura se caracteriza por una forma acicular o tipo aguja.

**Metaestable:** Estado de pseudoequilibrio que tiene una energía libre mayor que la del estado verdadero de equilibrio, pero que no cambia espontáneamente.

**Metalografía:** Ciencia que estudia la constitución y estructura de metales y aleaciones reveladas ya sea a simple vista o por tales herramientas, como amplificación de baja resolución, microscopio óptico, microscopio de electrones y técnicas de difracción o rayos x.

**Metalurgia:** Ciencia y tecnología de los metales. La Metalurgia de proceso (química) tiene por objeto la extracción de metales de sus minerales y la refinación de metales; la Metalurgia física se ocupa de las propiedades físicas y mecánicas de metales como son afectados por la composición, el trabajo mecánico y el tratamiento térmico.

**Microestructura:** Estructura de metales pulidos y atacados químicamente, revelada por un microscopio a una amplificación mayor a diez diámetros.

**Perlita:** Agregado laminar de ferrita y cementita que a menudo se presenta en un acero y hierro fundido.

**Sobrecalentamiento:** Calentar un metal o aleación a tan alta temperatura que sus propiedades se dañan. Cuando las propiedades originales no pueden restaurarse mediante tratamiento térmico ulterior por trabajo mecánico, o una combinación de trabajado y tratamiento térmico, el sobrecalentamiento se conoce como quemadura.



## RESUMEN

El presente proyecto de grado describe las propiedades de los materiales desde el punto de vista de Ingeniería Mecánica, características que presentan los metales ferrosos y no ferrosos como el acero, hierro fundido , aluminio, cobre y cinc, las aleaciones, precauciones y aplicaciones de cada uno de estos, tratamientos térmicos, termoquímicos que se realiza al acero, descripciones generales para preparar probetas metalográficas siguiendo una secuencia de desbaste, pulido, ataque químico y el respectivo examen microscópico indicando microestructuras de acero SAE 1045 y 1015, los equipos más utilizados para la obtención de dichas probetas, instalación de laboratorios generalidades sobre el local como techos, suelos, puesto de trabajo, elementos vidriados, ventanas, entradas, salidas, materiales, acabados ventilación e iluminación, normas de seguridad personales, normas de utilización de productos químicos, una descripción general del laboratorio de metalografía de la Escuela Politécnica Nacional, estudio económico del presente proyecto, conclusiones, recomendaciones, propuesta y guía de prácticas para el laboratorio básico de metalografía. La propuesta contiene un resumen general de todo lo mencionado más introducción, planteamiento del problema, justificación, objetivos, alcance, conclusiones, recomendaciones de la guía. Y la guía contiene cuatro prácticas la primera de materiales, la segunda especifica la preparación de probetas metalográficas en secuencia cronológica de pulido, la tercera es de ataque químico y la cuarta tratamientos térmicos para una muestra de acero tipo hipoeutectoide cada práctica contiene objetivos, marco teórico, materiales, equipos, procedimiento de cada práctica, bibliografía e informe que debe presentar el estudiante al término de cada práctica.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 GENERALIDADES.**

En el ámbito industrial se emplean diferentes tipos de materiales a fin de satisfacer los requerimientos de procesos industriales, transportación, edificación, etc. Para determinar las propiedades mecánicas y tecnológicas se procede a realizar diferentes tipos de ensayos tales como: dureza, magnetismo, choque térmico, entre otros. Así también se estudia la microestructura para ello se procede a ensayos metalográficos que permiten estudiar las microestructuras constitutivas y sus propiedades.

La implementación de un laboratorio de Metalografía en instituciones educativas a fines de la mecánica permite que el estudiante se familiarice con ensayos metalográficos básicos como es la preparación de probetas y observación de las microestructuras, conocimientos de gran importancia en el campo metalográfico.

### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El I.T.S.A no cuenta con un Laboratorio de Metalografía para complementar la teoría con la práctica en la asignatura de ciencia de materiales y debido a la necesidad actual es indispensable contar con uno en el instituto para tener conocimientos específicos en el campo de materiales.

El amplio campo de la mecánica aeronáutica involucra a lo largo de la carrera y en la vida profesional conocer las propiedades y el tipo de materiales utilizados en diferentes componentes de aviones y otra clase de estructuras para corregir y evitar posibles daños que puedan afectar el funcionamiento y vida útil de los mismos.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Al combinar la teoría con la práctica es más agradable para el estudiante y al docente le permite ser más didáctico, es por este motivo que se necesita instalar un laboratorio Básico de Metalografía que servirá como ayuda práctica de futuras promociones en la carrera de Mecánica Aeronáutica.

### **1.4 OBJETIVOS**

#### **1.4.1 Objetivo general:**

- Elaborar la Guía de Prácticas para el Laboratorio Básico de Metalografía que servirá de ayuda didáctica y práctica para las próximas promociones.

#### **1.4.2 Objetivos específicos:**

- Realizar un estudio global de materiales ferrosos y no ferrosos.
- Especificar las Prácticas a realizar en el Laboratorio Básico en función de los equipos existentes.

- Recopilar información sobre reactivos químicos que se utilizan.

## **1.5 ALCANCE**

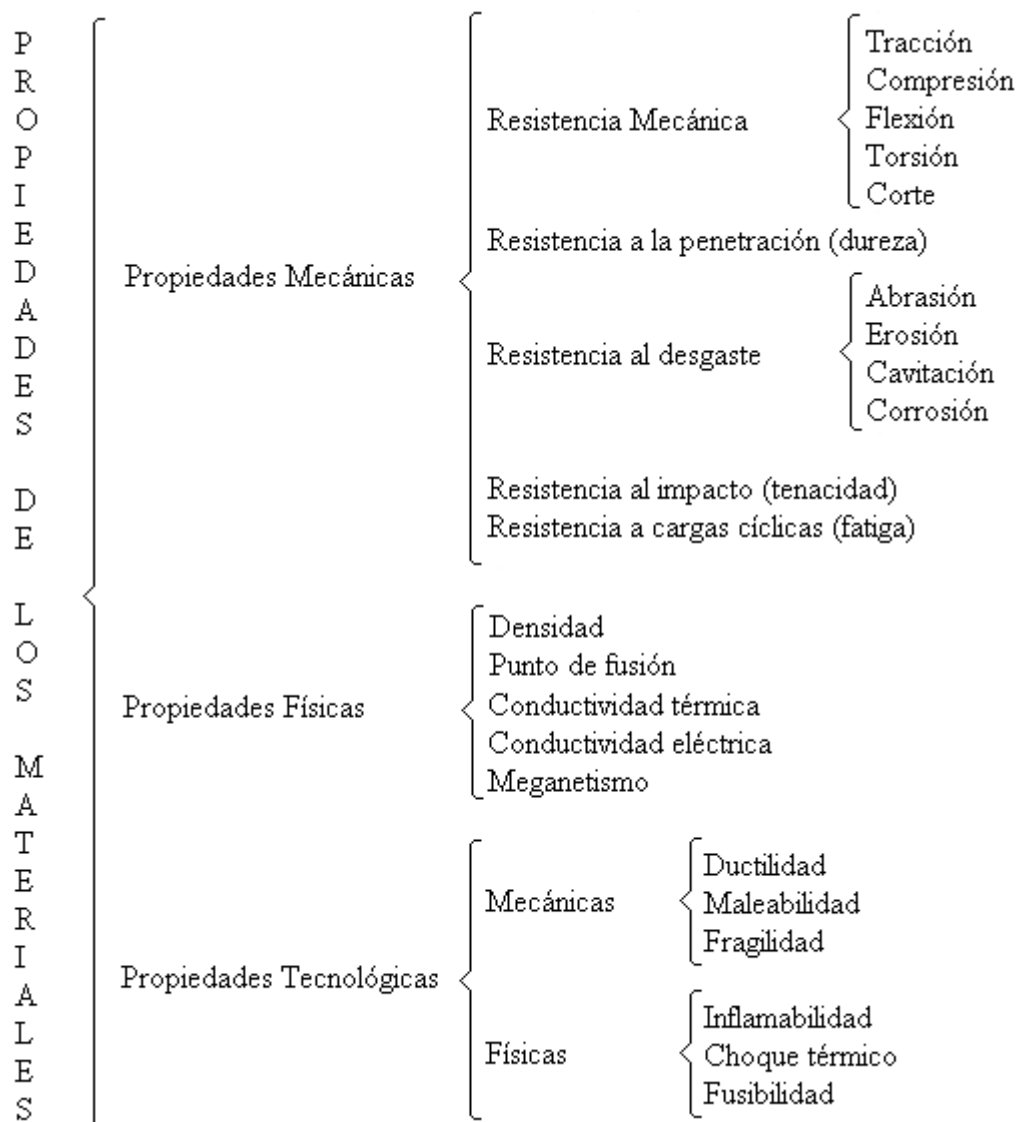
El presente proyecto tiene por alcance desarrollar una guía de procedimientos secuenciales que los estudiantes deben realizar con la finalidad de poder observar a través del microscopio las microestructuras de los materiales cuya probeta se ensaya.

El Docente y el Encargado del Laboratorio basándose en esta guía podrán establecer los resultados esperados y de esta manera complementar el estudio teórico con el práctico.

## CAPÍTULO II

### MATERIALES

El estudio de los materiales se basa en las propiedades que estos presentan. Estas propiedades se pueden dividir según el punto de vista de Ingeniería Mecánica como:



## **2.1 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES**

### **2.1.1 Propiedades mecánicas**

Las propiedades mecánicas o propiedades de resistencia mecánica sirven en la mayoría de los casos como base para dictaminar sobre un material metálico, con vistas a un fin de aplicación concreto.

#### **2.1.1.1 Resistencia Mecánica**

##### **2.1.1.1.1 Resistencia a la Tracción.**

Se establece en base a una prueba en la cual la probeta se somete a esfuerzos normales con el objeto de cuantificar el comportamiento durante la deformación y posterior rotura, a través del ensayo normalizado de tracción.

##### **2.1.1.1.2 Resistencia a la Compresión.**

Es la resistencia que presenta un cuerpo a cambiar su forma y dimensiones al presentarse fuerzas contrarias en la misma dirección.

##### **2.1.1.1.3 Resistencia a la Flexión.**

Es la resistencia que presentan los cuerpos a la acción de esfuerzos axiales y cortantes resultantes de la aplicación de carga en un elemento simplemente apoyado.

#### **2.1.1.1.4 Resistencia a la Torsión:**

Es la resistencia que presenta un cuerpo a la acción de esfuerzos cortantes, generados por el momento torsor aplicados en su sección transversal.

#### **2.1.1.1.5 Resistencia al Corte.**

Deslizamiento del material en direcciones opuestas

#### **2.1.1.2 Dureza**

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

##### **2.1.1.2.1 Escala de Dureza Mohs**

La resistencia al rayado se puede estimar por medio de la escala de dureza Mohs, que es un método comparativo con respecto a una serie de minerales, clasificados del 1 al 10, donde el 10 raya al 9, el 9 raya al 8 y así sucesivamente hasta el 1.

#### **2.1.1.3 Resistencia al Desgaste**

Resistencia que presenta un material a la remoción superficial de partículas. Esta remoción de partículas se denomina desgaste y es producida por diversos fenómenos.

#### **2.1.1.3.1 Desgaste por Abrasión**

Se produce por acción cortante de partículas duras, generalmente en suspensión. Estas partículas se denominan abrasivas y corresponden a un material más duro que el material que se desgasta.

#### **2.1.1.3.2 Desgaste por Erosión**

Es producido por acción de partículas transportadas en una corriente líquida o gaseosa, en donde se combinan efecto abrasivo y efecto químico.

#### **2.1.1.3.3 Desgaste por Cavitación**

Se produce por formación de burbujas de aire o de vapor y el posterior colapso de estas (implosión), lo que corresponde a un efecto de tipo físico-químico.

#### **2.1.1.3.4 Desgaste por Corrosión.**

Es producido debido a la reacción entre ellos y su medio ambiente; debido a que todo el material procura volver a su estado natural, es decir, a su condición mineral.



#### **2.1.1.4 Resistencia al Impacto (tenacidad)**

Resistencia a la rotura por esfuerzos de impacto que deforman el metal. La tenacidad requiere la existencia de resistencia y plasticidad.

Si el material es capaz de absorber una gran cantidad de energía mediante deformación plástica se le define como tenaz.

#### **2.1.1.5 Resistencia a cargas cíclicas (Fatiga Mecánica)**

La fatiga mecánica se refiere, en general, al deterioro gradual de un material que está sujeto a cargas repetidas, por ejemplo, cargas axiales de tracción - compresión que se aplican consecutivamente.

### **2.1.2 Propiedades físicas**

#### **2.1.2.1 Densidad**

La densidad absoluta de una sustancia homogénea es la relación de masa en la unidad de volumen de dicha sustancia.

#### **2.1.2.2 Punto de Fusión**

Es la temperatura a la cual un material pasa del estado sólido al líquido, transformación que se produce con absorción de calor

### **2.1.2.3 Conductividad Térmica**

Se puede definir como la cantidad de Calor que se puede conducir por Unidad de tiempo, a través de una unidad de área en un determinado material, cuando el gradiente de temperatura en el elemento conductor de calor es la unidad.

### **2.1.2.4 Conductividad Eléctrica**

Es la facilidad que presenta un material al paso de la energía eléctrica.

### **2.1.2.5 Magnetismo**

Es una propiedad que poseen los materiales para permitir el paso de líneas de flujo magnético.

## **2.1.3 Propiedades tecnológicas**

### **2.1.3.1 Mecánicas**

#### **2.1.3.1.1 Ductilidad**

Es la capacidad del metal para dejarse deformar o trabajar en frío; aumenta con la tenacidad y disminuye al aumentar la dureza.

### **2.1.3.1.2 Maleabilidad**

Es la facilidad que presentan ciertos materiales para deformarse plásticamente bajo la acción de esfuerzos de compresión.

### **2.1.3.1.3 Fragilidad**

Propiedad que expresa falta de plasticidad, y por tanto, de tenacidad, los materiales se rompen con poco alargamiento.

## **2.1.3.2 Físicas**

### **2.1.3.2.1 Inflamabilidad**

Este efecto se produce con cada material a una determinada temperatura y presión

### **2.1.3.2.2 Choque Térmico (Fatiga Térmica)**

Es la capacidad que tiene un cuerpo para soportar cambios representativos e intensos de temperatura, es decir, absorber o entregar energía calórica en forma violenta.

### **2.1.3.2.3 Fusibilidad**

Es la capacidad que posee un sólido para cambiar al estado de agregación líquida

(fundirse).

## **2.2 METALES FERROSOS Y NO FERROSOS**

### **2.2.1 Metales ferrosos**

Los metales ferrosos son aquellos que están basados en el hierro, entre los de mayor importancia son el hierro y el carbono. Estas aleaciones se dividen en dos grupos: los aceros y las fundiciones de hierro.

#### **2.2.1.1 Aceros**

Los aceros son aleaciones de hierro y carbono, en concentraciones máximas de 2,11% de carbono en peso aproximadamente. El carbono es el elemento de aleación principal, pero los aceros contienen otros elementos. Dependiendo de su contenido en carbono se clasifican en:

##### **2.2.1.1.1 Acero bajo en carbono**

Menos del 0,25% de C en peso. Son blandos pero dúctiles. Se utilizan en vehículos, tuberías, elementos estructurales, etcétera.

#### **2.2.1.1.2 Acero medio en carbono**

Entre 0,25% y 0,6% de C en peso. Para mejorar sus propiedades son tratados térmicamente. Son más resistentes que los aceros bajos en carbono, pero menos dúctiles; se emplean en piezas de ingeniería que requieren una alta resistencia mecánica y al desgaste.

#### **2.2.1.1.3 Acero alto en carbono**

Entre 0,60% y 1,4% de C en peso. Son aún más resistentes, pero también menos dúctiles. Se añaden otros elementos para que formen carburos, por ejemplo, con wolframio se forma el carburo de wolframio, WC; estos carburos son muy duros. Estos aceros se emplean principalmente en herramientas.

#### **2.2.1.1.4 Aleaciones de acero**

El acero es una aleación de hierro y carbono, en varias ocasiones se añaden otros elementos como manganeso, cromo, níquel y molibdeno para que tenga otras propiedades, pero el principal elemento es el carbono, este es el que transforma el hierro en acero.

##### **2.2.1.1.4.1 Aceros al cromo.**

El cromo comunica dureza y una mayor penetración del temple, por lo que pueden ser templados al aceite. Los aceros con 1,15 a 1,30% de carbono y con 0,80 a 1% de

cromo son utilizados para la fabricación de láminas debido a su gran dureza, y en pequeña escala los que tienen 0,3 a 0,4% de carbono y 1% de cromo.

#### **2.2.1.1.4.2 Aceros al cromo-níquel.**

De uso más corriente que el primero, se usan en la proporción de carbono hasta 0,10%, cromo 0,70% y níquel 3%; o carbono hasta 15%, cromo 1% y níquel 4%, como aceros de cementación. Los aceros para temple en aceite se emplean con diversas proporciones; uno de uso corriente sería el que tiene carbono 0,30, cromo 0,7% y níquel 3%.

#### **2.2.1.1.4.3 Aceros al cromo-molibdeno.**

Son aceros más fáciles de trabajar que los otros con las máquinas herramientas. El molibdeno comunica una gran penetración del temple en los aceros; se emplean cada vez más en construcción, tendiendo a la sustitución del acero al níquel. De los tipos más corrientes tenemos los de carbono 0,10% , cromo 1% y molibdeno 0,2% y el de carbono 0,3%, cromo 1% y molibdeno 0,2%; entre estos dos ejemplos hay muchos otros cuya composición varía según su empleo.

#### **2.2.1.1.4.4 Aceros al cromo-níquel molibdeno.**

Son aceros de muy buena característica mecánica. Un ejemplo de mucha aplicación es el que tiene carbono 0,15% a 0,2%, cromo 1 a 1,25%, níquel 4% y molibdeno 0,5%.

El cromo es el elemento aleado que más influye en la resistencia a la oxidación y a la corrosión de los aceros. Un 12% de cromo ya impide la corrosión por el aire ambiente húmedo. Para la oxidación a altas temperaturas se puede necesitar hasta un 30 % el Níquel mejora la resistencia a la corrosión de los aceros al cromo

#### **2.2.1.1.4.5 Aceros inoxidable**

Uno de los inconvenientes del hierro es que se oxida con facilidad. Hay una serie de aceros a los que se les añaden otros elementos aleantes (principalmente cromo) para que sean más resistentes a la corrosión, se llaman aceros inoxidable. Con proporción de 18 a 20% de cromo y 8 a 10% de níquel; son también resistentes a la acción del agua de mar. Un acero de gran resistencia a la oxidación en caliente es el que tiene 20 a 30% de cromo y 5% de aluminio.

#### **2.2.1.1.5 También existe otra clasificación de los aceros al carbono (sin alea) según su contenido en carbono:**

##### **2.2.1.1.5.1 Los aceros hipoeutectoides**

Cuyo contenido en carbono a temperatura eutectoide (727°C) oscila entre 0.02% y 0,77%.

#### **2.2.1.1.5.2 Los aceros eutectoides**

Cuyo contenido en carbono es de 0,77%.

#### **2.2.1.1.5.3 Los aceros hipereutectoides**

Con contenidos en carbono de 0,77% a 2,11%.

#### **2.2.1.2 Hierro fundido**

Las fundiciones, como los aceros, son en esencia aleaciones de hierro y carbono el contenido en carbono de las fundiciones varía de 2 a 6,67%. Sin embargo como los contenidos de carbono elevados confieren una gran fragilidad a la fundición, la mayoría de los tipos comerciales fabricados contienen una cantidad comprendida entre el 2,5 y el 4%.

La ductilidad de las fundiciones es muy baja, por lo que no puede laminarse, estirarse o deformarse a temperatura ambiente, no siendo la mayor parte de ella maleable a ninguna temperatura. Sin embargo, funden fácilmente y pueden moldearse formas complicadas que usualmente se mecanizan después a dimensiones.

#### **2.2.1.2.1 Tipos De Fundición**

La mejor manera de clasificar las fundiciones es en función de su estructura metalográfica. Al estudiar los distintos tipos hay que considerar cuatro variables que



influyen considerablemente en su formación, a saber: el contenido de carbono, el contenido en elementos de aleación e impurezas, la velocidad de enfriamiento durante y después de la solidificación, y el tratamiento térmico que reciben posteriormente. Estas variables determinan la condición y forma física del carbono. El carbono puede encontrarse en la fundición combinado con el hierro en forma de cementita, o bien libre en forma de grafito. La forma y distribución de las partículas de carbono libre influyen considerablemente en las propiedades físicas de la fundición. Los distintos tipos de las mismas son los siguientes:

Fundición Blanca.

Fundición Maleable.

Fundición Gris.

Fundición Dúctil o nodular.

Fundición en Coquilla.

Fundición Aleada.

#### **2.2.1.2.1.1 Fundición blanca**

Son aquellas en las que todo el carbono se encuentra combinado bajo la forma de cementita. Todas ellas son aleaciones hipoeutécticas y las transformaciones que tienen lugar durante su enfriamiento son análogas a las de la aleación de 2,5 % de carbono.

Estas fundiciones se caracterizan por su dureza y resistencia al desgaste, siendo sumamente quebradiza y difícil de mecanizar. Esta fragilidad y falta de maquinabilidad limita la utilización industrial de las fundiciones " totalmente blancas ", quedando reducido su empleo a aquellos casos en que no se quiera ductilidad como en las camisas interiores de las hormigoneras, molinos de bolas, algunos tipos de estampas de estirar y en las boquillas de extrusión. También se utiliza en grandes cantidades, como material de partida, para la fabricación de fundición maleable.

#### **2.2.1.2.1.2 Fundición maleable**

Se crea al intentar térmicamente la fundición blanca no aleada, a partir de la fundición blanca se producen dos tipos de fundición maleable: Fundición maleable férrica se consigue enfriando la pieza fundida y así se llega a la segunda etapa de grafitización, esta fundición tiene buena tenacidad, la fundición maleable perlita se crea al enfriar la austenita al aire o en aceite para así formar perlita o martensita.

### **2.2.1.2.1.3 Fundición gris**

La mayoría de las fundiciones grises son aleaciones hipoeutécticas que contienen entre 2,5 y 4% de carbono. El proceso de grafitización se realiza con mayor facilidad si el contenido de carbono es elevado, las temperaturas elevadas y si la cantidad de elementos grafitizantes presentes, especialmente el silicio, es la adecuada.

Para que grafiticen la cementita eutéctica y la proeutectoide, aunque no la eutectoide, y así obtener una estructura final perlítica hay que controlar cuidadosamente el contenido de silicio y la velocidad de enfriamiento.

### **2.2.1.2.1.4 Fundición dúctil o nodular**

Para esta fundición se requiere grafito esferoidal, para crear este metal se siguen los siguientes pasos:

- **Desulfurización:** El azufre provoca que el grafito crezca en forma de hojuelas, al fundir en hornos que en la fusión eliminen el azufre del hierro.
- **Nodulación:** Se aplica magnesio, este elimina cualquier azufre y oxígeno que haya quedado en el metal. De no ser vaciado el hierro después de la nodulación, el hierro se convierte en fundición gris.

- Inoculación: Un estabilizador eficaz de carburos es el magnesio y hace que en la solidificación se forme la fundición blanca. Después de la nodulación se debe inocular el hierro.
- Hierro de grafito compacto. La forma de grafito es intermedia entre hojuelas y esferoidal. El grafito compacto da resistencia mecánica y ductilidad y el metal conserva una buena conductividad térmica y propiedades de absorción de la vibración.

#### **2.2.1.2.1.5 Fundición en coquilla**

Las fundiciones en coquilla, se obtienen colando el metal fundido en coquilla metálica. De esta forma se obtienen piezas constituidas por una capa periférica dura y resistente a la abrasión de fundición blanca que envuelve totalmente a un corazón más blando de fundición gris, siendo necesario para conseguir buenos resultados tener un control muy cuidadoso de la composición y de la velocidad de enfriamiento.

Las fundiciones en coquilla pueden obtenerse ajustando la composición de la fundición de tal modo que la velocidad de enfriamiento del normal en la superficie sea la justa para que se forme fundición blanca, mientras que en el interior, al ser menor la velocidad, se obtiene fundiciones atruchadas y grises.

Jugando con los espesores metálicos del molde y con algunos componentes de la aleación como el silicio, manganeso, fósforo etc. se puede controlar el espesor de la capa de fundición blanca que se desea obtener.

#### **2.2.1.2.1.6 Fundición aleada**

Las fundiciones aleadas son aquellas que contienen uno o más elementos de aleación en cantidades suficientes para mejorar las propiedades físicas o mecánicas de las fundiciones ordinarias. Los elementos que normalmente se encuentran en las primeras materias, como el silicio, manganeso, fósforo y azufre no se consideran como elementos de aleación.

Los elementos de aleación se adicionan a las fundiciones ordinarias para comunicarles alguna propiedad especial, tal como resistencia a la corrosión, al desgaste o al calor, o para mejorar sus propiedades mecánicas. La mayoría de los elementos de aleación adicionados a las fundiciones aceleran o retardan la grafitización, y ésta es una de las principales razones de su empleo. Los elementos de aleación más utilizados son el cromo, cobre, molibdeno, níquel y vanadio.

#### **2.2.1.2.2 Aplicaciones**

El hierro es el metal más usado, con el 95% en peso de la producción mundial de metal. Fundamentalmente se emplea en la producción de acero, la aleación de hierro más conocida, consistente en aleaciones de hierro con otros elementos, tanto metálicos como no metálicos, que confieren distintas propiedades al material. Se considera que una aleación de hierro es acero si contiene menos de un 2% de carbono; si el porcentaje es mayor, recibe el nombre de fundición.

Las aleaciones férreas presentan una gran variedad de propiedades mecánicas dependiendo de su composición o el tratamiento que se haya llevado a cabo.

### **2.2.2 Metales no ferrosos**

Los metales no ferrosos son aquellos que incluyen elementos metálicos y aleaciones que no se basan en el hierro, algunos ejemplos son el aluminio, el cobre, el magnesio, el níquel, el zinc entre otros.

Aunque algunos metales no ferrosos no pueden igualar la resistencia de los aceros, algunas aleaciones no ferrosas tienen otras características, como resistencia a la corrosión y relaciones resistencia-peso.

#### **2.2.2.1 Aluminio**

El aluminio es el elemento químico, de símbolo Al y número atómico 13. Con el 8,13 % es el elemento metálico más abundante en la corteza terrestre.

Su ligereza, conductividad eléctrica, resistencia a la corrosión y bajo punto fusión le convierten en un material idóneo para multitud de aplicaciones, especialmente en aeronáutica. Sin embargo, la elevada cantidad de energía necesaria para su obtención dificulta su mayor utilización; dificultad que puede compensarse por su bajo coste de reciclado, su dilatada vida útil y la estabilidad de su precio.

### **2.2.2.1.1 Características y propiedades**

Metal ligero, blando, maleable, dúctil y tenaz; se puede forjar, estirar y laminar a 400 °C aproximadamente.

Su color es blanco brillante y tiene la estructura de grano opaco cuando es fundido, o bien fibrosa si está forjado.

Características: R= 12...15 kg/mm<sup>2</sup>. A= 8...6%. Peso específico: 2.25 si es fundido; 2.75 si es laminado o batido. Punto de fusión: 700 °

### **2.2.2.1.2 Aleaciones de aluminio**

Cuando se habla de aluminio se tienen en cuenta todas sus aleaciones, satisface como ningún otro metal las actuales demandas que se piden a un material estructural como son:

La ligereza, la densidad del aluminio ( 2,70 g/cm ) es realmente baja comparada con la del hierro ( 7,90 g/cm ).

#### **2.2.2.1.2.1 Aleantes del aluminio y clasificación de las aleaciones:**

Las propiedades del aluminio dependen de un conjunto de factores, de estos, el más importante es la existencia de aleantes. Con la excepción del aluminio purísimo (

99,99 % de pureza ), técnicamente se utilizan sólo materiales de aluminio que contienen otros elementos. Aún en el aluminio purísimo, las impurezas ( Fe y Si ) determinan, en gran medida, sus propiedades mecánicas.

Los elementos aleantes principales del aluminio son: cobre (Cu), silicio (Si), magnesio (Mg), zinc (Zn) y manganeso (Mn):

#### **2.2.2.1.2.2 Clasificación del aluminio y sus aleaciones**

Se divide en dos grandes grupos bien diferenciados, estos dos grupos son: forja y fundición. Esta división se debe a los diferentes procesos de conformado que puede sufrir el aluminio y sus aleaciones.

Dentro del grupo de aleaciones de aluminio forjado encontramos otra división clara, que es la del grupo de las tratables térmicamente y las no tratables térmicamente. Las no tratables térmicamente solo pueden ser trabajadas en frío con el fin de aumentar su resistencia.

Conviene señalar que, dentro de las aleaciones para forja, los grupos principales de las no tratables térmicamente son: 1xxx, 3xxx y 5xxx. Dentro de las tratables térmicamente los grupos principales son: 2xxx, 6xxx y 7xxx. En esta última división, se encuentran las aleaciones de aluminio con mayores resistencias mecánicas, los grupos 2xxx y 7xxx, por lo que son las aleaciones más indicadas.



### **2.2.2.1.2.3 Aleaciones ligeras de aluminio (en las que el aluminio es el elemento principal)**

Se clasifican en dos grupos principales: aleaciones para moldeo o de fundería y aleaciones para forja o laminación.

### **2.2.2.1.2.4 Aleaciones para moldeo sin tratamiento térmico**

#### **2.2.2.1.2.4.1 Aleaciones Al - Cu**

Las aleaciones con 3 a 6 % de Cu son más duras que el aluminio y casi igualmente ligeras; pueden competir con el duraluminio.

Las aleaciones con 8 % de Cu se emplean para colar piezas corrientes: bloques de motores, cajas de velocidades.

La aleación con 12 % de Cu se emplea para la colada en coquilla por su poca contracción.

Estas aleaciones se emplean mucho en la industria del automóvil y en la de la aviación.

#### **2.2.2.1.2.5 Aleaciones de aluminio para moldes-susceptibles de tratamiento térmico**

##### **2.2.2.1.2.5.1 Al – Si – Mn – Mg**

Estas aleaciones tienen buena resistencia a la corrosión y es susceptible de un bello pulimento. Se emplea en piezas ornamentales (piezas coladas, soportes).

#### **2.2.2.1.2.6 Aleaciones para forja y laminación sin tratamiento térmico**

##### **2.2.2.1.2.6.1 Al – Mn**

La aleación con 1,5 % de Mn tiene unas características mecánicas que son superiores en un 20 % aproximadamente a las del aluminio (purísimo). Se emplea para chapas de revestimiento y perfiles de carrocerías.

##### **2.2.2.1.2.6.2 Al – Mn – Mg**

La aleación con 1,25 % de Mn y 1 % de Mg sirve para la ornamentación y posee características mecánicas superiores a la anterior. Resiste a la corrosión y es susceptible de un bello pulimento; de aquí su empleo en escaparates, perfiles para vitrinas, reflectores, etc.

##### **2.2.2.1.2.7 Duralinox (Al – Mg – Mn)**

Con 7 % de Mg, y 0,4 de Mn resiste a la corrosión y trabaja en caliente. Su empleo

en construcción es aconsejado por su facilidad de trabajo (plegado embutición) y de soldadura.

#### **2.2.2.1.2.8 Aleaciones de aluminio para forja y laminación susceptibles de tratamiento térmico**

##### **2.2.2.1.2.8.1 Al – Mg - Si**

Con 0,5 a 1 % de Mg y 1 a 2 % de Si tiene propiedades variables con la temperatura de calentamiento (480° a 525°). El calentamiento es seguido de temple en agua fría. Se emplea para piezas embutidas o repujadas y sirve también para ornamentación

La aleación con 0,7 de Mg, y 0,5 % de Si sustituye al cobre en las líneas de conducción eléctrica. Su resistencia a la tracción es doble de la del aluminio y su resistividad es el 92 % de la del aluminio.

##### **2.2.2.1.2.9 Duraluminio (4.4% Cu - 1.5% Mg – 06% Mn)**

Por tratamiento térmico alcanza características que se aproximan a las del acero no tratado. La resistencia a la tracción es de 42kg/mm<sup>2</sup>; su límite elástico de 27 Kg/mm<sup>2</sup>, y el alargamiento del 20 %. Estas características se consiguen por calentamiento a unos 500°, temple en agua y permanencia durante algún tiempo a la temperatura ambiente. En las primeras horas que siguen al temple es maleable, pudiéndose aprovechar esta circunstancia para ajustar su forma.

El duraluminio (perfiles, chapas, flejes) se puede recubrir con aluminio puro; así se consigue un producto con las mismas propiedades que el duraluminio, pero al que el aluminio puro protege contra la corrosión, particularmente la de las atmósferas marítimas.

A veces se añade níquel al duraluminio como elemento endurecedor.

Las propiedades mecánicas del duraluminio varían durante los primeros 4 días que siguen al temple y luego se estabilizan en los 4 días siguientes.

### **2.2.2.1.3 Aplicaciones**

Ya sea considerando la cantidad o el valor del metal empleado, su uso excede al del cualquier otro exceptuando el acero, y es un material importante en multitud de actividades económicas.

El aluminio puro es blando y frágil, pero sus aleaciones con pequeñas cantidades de cobre, manganeso, silicio, magnesio y otros elementos presentan una gran variedad de características adecuadas a las más diversas aplicaciones. Estas aleaciones constituyen el componente principal de multitud de componentes de los aviones y cohetes, en los que el peso es un factor crítico.

La capa de óxido que se forma impide el deterioro del recubrimiento, por esta razón se ha empleado para revestir los espejos de telescopios, en sustitución de la plata.

Dada su gran reactividad química, finalmente pulverizado se usa como combustible sólido de cohetes y para aumentar la potencia de explosión, como ánodo de sacrificio y en procesos de aluminotermia (termita) para la obtención de metales.

Otros usos del aluminio son:

- Transporte, como material estructural en aviones, automóviles, tanques, superestructuras de buques, blindajes, etc.

- Embalaje; papel de aluminio, latas, tetrabriks, etc.

- Construcción; ventanas, puertas, perfiles estructurales, etc.

- Bienes de uso; utensilios de cocina, herramientas, etc.

- Transmisión eléctrica. Aunque su conductividad eléctrica es tan sólo el 60% de la del cobre, su mayor ligereza disminuye el peso de los conductores y permite una mayor separación de las torres de alta tensión, disminuyendo los costes de la infraestructura.

#### **2.2.2.1.4 Precauciones**

El aluminio es uno de los pocos elementos abundantes en la naturaleza que parecen no tener ninguna función biológica beneficiosa. Algunas personas manifiestan alergia al aluminio, sufriendo dermatitis por contacto, e incluso desórdenes digestivos al

ingerir alimentos cocinados en recipientes de aluminio; para el resto de personas, no se considera tan tóxico como los metales pesados, aunque existen evidencias de cierta toxicidad si se consume en grandes cantidades. El uso de recipientes de aluminio no se ha encontrado que acarree problemas de salud, estando éstos relacionados con el consumo de antiácido o antitranspirantes que contienen aluminio. Se ha sugerido que el aluminio puede estar relacionado con el Alzheimer, aunque la teoría ha sido refutada.

#### **2.2.2.2 Cobre**

El cobre es un elemento químico de número atómico 29 y símbolo Cu. Es uno de los metales más importantes industrialmente. De coloración rojiza es dúctil, maleable y buen conductor de la electricidad.

##### **2.2.2.2.1 Características y propiedades**

Tiene color rojizo y estructura de grano finísimo; es muy maleable y dúctil pero menos tenaz y más blando que el hierro.

En contacto con el aire se cubre de una capa de óxido (tóxico) la cual, una vez alcanzados ciertos límites, lo protege de ulteriores oxidaciones.

El cobre batido adquiere dureza y no recupera la maleabilidad primitiva se no sufre un recocido, que consiste en calentarlo a la temperatura adecuada dejándolo enfriar lentamente.

Tiene una resistencia  $R= 20...25 \text{ Kg/mm}^2$  con un alargamiento  $A$  del 38...35% .  
funde a  $1080^\circ\text{C}$  y pesa 8,8... 9  $\text{Kg/dm}^3$  cúbicos.

#### **2.2.2.2.2 Aleaciones de Cobre**

El cobre es metal base de numerosas aleaciones:

1. Los latones, aleaciones de cobre y cinc;
2. Los bronces, aleaciones de cobre y estaño;
3. Las platas alemanas; o malecorts, aleaciones de cobre, níquel y un poco de cinc.

#### **2.2.2.2.1 Latones**

Se distinguen dos clases: los latones ordinarios, a base de Cu y de Zn, y los latones especiales, que contienen uno o dos metales más aparte del cobre y el cinc.

##### **2.2.2.2.1.1 Latones ordinarios**

Son aleaciones de Cu y Zn con más de 55 % de cobre. Presentan sobre el cobre las ventajas siguientes: 1.º, precio más bajo; 2.º, mayor facilidad para el moldeo; 3.º, gran maleabilidad; 4.º, gran resistencia mecánica y dureza más elevada; 5.º, mayor resistencia a los agentes atmosféricos.

1. Latones para bisutería, con 80 a 85 % de Cu. Ejemplo es el similar o tombac.

2. Latones mecánicos: para embutición (latones 70-30, con 70 % de Cu); de fácil mecanización (50 a 55 % de cobre).

3. Latones para soldadura fuerte: soldadura del hierro (70 a 90 % de Cu), del cobre (55 a 50 %), del latón (50 a 45 %).

#### **2.2.2.2.1.2 Latones especiales**

Son aleaciones Cu-Zn a las que se añaden uno o varios elementos:

Pb, Mn, Al, Fe, etc

##### **2.2.2.2.1.2.1. Latones al plomo**

1 o 2 % de plomo facilitan la mecanización.

##### **2.2.2.2.1.2.2. Latones al hierro o metales delta (55 % de Cu, 42 % de Zn, 1,5 % de Fe, 1 % de Mn)**

Son aleaciones muy maleables y resistentes a la corrosión para hélices, válvulas y turbinas de vapor.



#### **2.2.2.2.1.23. Latones al manganeso**

Se añade 2 a 4 % de Mn a los latones con 60 % de Cu para aumentar la resistencia a la tracción y el límite elástico (hélices de barcos, árboles de hélice). Un ejemplo es el metal Roma (58 % de Cu, 40 % de Zn, 2 % de Mn).

#### **2.2.2.2.1.24. Latones al estaño**

Con la composición 60 % de Cu, 23 % de Zn y 2 % de Sn resisten muy bien a la corrosión por el agua del mar, empleándose para bombas y en construcción naval.

#### **2.2.2.2.2 Bronces**

##### **2.2.2.2.2.1 Bronces ordinarios**

Son aleaciones Cu - Sn con más de 70 % de Cu; con contenidos menores se obtienen productos quebradizos. Se distinguen:

Bronces maleables para medallas, con 4 a 10 % de Sn;

Bronces mecánicos para engranajes, con 9 a 12 % de Sn;

Bronces mecánicos para cojinetes, con 15 a 20 % de Sn;

Los bronce de campanas y artísticos, con 20 a 30 % de Sn.

#### **2.2.2.2.2.2 Bronces especiales**

Son aleaciones ternarias o cuaternarias.

##### **2.2.2.2.2.2.1 Bronces al cinc**

El cinc aumenta la maleabilidad y la facilidad de moldeo. Ejemplos:

Bronce de monedas: 95 % de Cu, 4 % de Sn, 1 % de Zn.

Bronce artístico duro: 90 % de Cu, 8 % de Sn, 2 % de Zn.

Bronce de orfebrería: 75 % de Cu, 5 % de Sn, 20 % de Zn.

##### **2.2.2.2.2.2.2 Bronces al plomo**

El plomo mejora la calidad frente al frotamiento y autolubrica, para evitar la separación del plomo en el estado líquido se añaden níquel o cinc. Ejemplos:

Bronces mecánicos: 88 % de Cu, 9 % de Sn, 2 % de Pb, 1 % de Zn.

##### **2.2.2.2.2.2.3. Bronces fosforosos**

Trazas de fósforo; sirven para eliminar los óxidos, particularmente el  $\text{Cu}_2\text{O}$ , y para aumentar la dureza y disminuir las sopladuras.

Ejemplo: 89 % de Cu, 8 % de Sn, 2 % de Zn, 0,1 % de P.

#### **2.2.2.2.3 Platas Alemanas (Malecorts)**

Son aleaciones ternarias Cu-Zn-Ni, inalterables, de un aspecto blanco que justifica su empleo en bisutería. Estas aleaciones para la joyería de imitación tienen 50 a 65 % de Cu, 7 a 30 % de Ni y 10 a 35 % de Zn. Reciben muy diversos nombres: plata alemana, plata nueva, argentan, alpaca, packfong, etc.

#### **2.2.2.2.3 Aplicaciones**

El cobre ha sido utilizado para una gran variedad de aplicaciones a causa de sus ventajosas propiedades como son la conductividad del calor y electricidad, la resistencia a la corrosión, así como su maleabilidad y ductilidad, además de su belleza. Debido a su extraordinaria conductividad, sólo superada por la plata, el uso más extendido del cobre se da en la industria eléctrica. Su ductilidad permite transformarlo en cables de cualquier diámetro, desde 0,025 mm en adelante. La resistencia a la tracción del alambre de cobre estirado es de unos 4.200 kg/cm<sup>2</sup>. Puede usarse tanto en cables y líneas de alta tensión exteriores como en el cableado eléctrico en interiores, cables de lámparas y maquinaria eléctrica en general: generadores, motores, reguladores, equipos de señalización, aparatos electromagnéticos y sistemas de comunicaciones.

#### **2.2.2.2.4 Precauciones**

Todos los compuestos de cobre deberían tratarse como si fueran tóxicos, ya que

una cantidad de 30 g de sulfato de cobre es potencialmente letal en humanos.

### **2.2.2.3 Cinc**

El **zinc** o **cinc** es un elemento químico de número atómico 30 y símbolo **Zn** situado en el grupo 12 de la tabla periódica de los elementos.

#### **2.2.2.3.1 Características y propiedades**

De color blanco grisáceo, casi azulado, presenta una estructura laminar bastante brillante. Ofrece algo de resistencia a la acción de la lima por embotarlas fácilmente a causa de su poca dureza y la facilidad con que se raya. Es bastante frágil en frío, en tanto que a 120...150°C se hace dúctil y maleable dejándose estirar en chapas, cinc, hilos, etc., para volverse de nuevo frágil hacia los 200°C.

La resistencia es  $R = 16 \text{ Kg/mm}^2$  y el alargamiento  $A = 12\%$ . Funde a 415° y su peso específico oscila entre 6,9 y 7,2.

#### **2.2.2.4 Aleaciones**

Las aleaciones más empleadas son las de aluminio (3,5-4,5%, Zamak; 11-13%, Zn-Al-Cu-Mg; 22%, Prestal, aleación que presenta superplasticidad) y cobre (alrededor del que mejoran las características mecánicas del zinc y su aptitud al moldeo.

Es componente minoritario en aleaciones diversas, principalmente de cobre como latones (3 a 45% de zinc), alpacas (Cu-Ni-Zn) y bronce (Cu-Sn) de moldeo.

#### **2.2.2.5 Aplicaciones**

La principal aplicación del zinc —cerca del 50% del consumo anual— es el galvanizado del acero para protegerle de la corrosión, protección efectiva incluso cuando se agrieta el recubrimiento ya que el zinc actúa como ánodo de sacrificio. Otros usos incluyen

Baterías de Zn-AgO usadas en la industria aeroespacial para misiles y cápsulas espaciales por su óptimo rendimiento por unidad de peso y baterías zinc-aire para ordenadores portátiles.

Piezas de fundición inyectada en la industria de automoción.

Metalurgia de metales preciosos y eliminación de la plata del plomo

#### **2.2.2.6 Precauciones**

El zinc metal no está considerado como tóxico pero sí algunos de sus compuestos como el óxido y el sulfuro.

## **2.3 TRATAMIENTOS TÉRMICOS PARA MATERIALES FERROSOS (ACERO)**

### **2.3.1 Temple**

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

Los factores que influyen en la práctica del temple son:

#### **2.3.1.1 El tamaño de la pieza**

Cuanto más espesor tenga la pieza más hay que aumentar el ciclo de duración del proceso de calentamiento y de enfriamiento

#### **2.3.1.2 La composición química del acero**

En general los elementos de aleación facilitan el temple.

#### **2.3.1.3 El tamaño del grano**

Influye principalmente en la velocidad crítica del temple, tiene mayor templabilidad el de grano grueso.

#### **2.3.1.4 El medio de enfriamiento**

Los medios más utilizados son: aire, aceite, agua, baño de Plomo, baño de Mercurio, baño de sales fundidas y polímeros hidrosolubles.

#### **2.3.2 Revenido**

Es un tratamiento complementario del temple, que generalmente sigue a éste. Al conjunto de los dos tratamientos también se le denomina "bonificado".

El tratamiento de revenido consiste en calentar al acero después de normalizado o templado, a una temperatura inferior al punto crítico, seguido de un enfriamiento controlado que puede ser rápido cuando se pretenden resultados altos en tenacidad, o lento, para reducir al máximo las tensiones térmicas que pueden generar deformaciones.

Los fines que se consiguen con este tratamiento son los siguientes:

Mejorar los efectos del temple, llevando al acero a un estado de mínima fragilidad.

Disminuir las tensiones internas de transformación, que se originan en el temple.

Modificar las características mecánicas, en las piezas templadas produciendo los siguientes efectos:

Disminuir la resistencia a la rotura por tracción, el límite elástico y la dureza.

Aumentar las características de ductilidad; alargamiento estricción y las de tenacidad; resiliencia.

Los factores que influyen en el revenido son los siguientes: la temperatura de revenido sobre las características mecánicas, el tiempo de revenido (a partir de un cierto tiempo límite la variación es tan lenta que se hace antieconómica su prolongación, siendo preferible un ligero aumento de temperatura de revenido), la velocidad de enfriamiento (es prudente que el enfriamiento no se haga rápido) y las dimensiones de la pieza (la duración de un revenido es función fundamental del tamaño de la pieza recomendándose de 1 a 2 horas por cada 25mm de espesor o diámetro).

El acero templado se vuelve frágil, siendo inútil en estas condiciones, por eso vamos al REVENIDO. Esta operación viene es para que las tensiones generadas en el acero no tengan tiempo de actuar provocando deformaciones o grietas.

Este proceso hace más tenaz y menos quebradizo el acero aunque pierde algo de dureza.



**Fig. 2.1 Hoja recién revenida**



### **2.3.3 Recocido**

Con este nombre se conocen varios tratamientos cuyo objetivo principal es "ablandar" el acero para facilitar su mecanizado posterior. También es utilizado para regenerar el grano o eliminar las tensiones internas.

Se debe tener en cuenta que los recocidos no proporcionan generalmente las características más adecuadas para la utilización del acero y casi siempre el material sufre un tratamiento posterior con vistas a obtener las características óptimas del mismo. Cuando esto sucede el recocido se llama también "tratamiento térmico preliminar" y al tratamiento final como "tratamiento térmico de calidad".

Los tipos de recocidos son los siguientes: recocido de regeneración, recocido de engrosamiento de grano, recocidos globulares o esferoidales (recocido globular subcrítico, recocido regular de austenización incompleta o recocido globular oscilante), recocido de homogenización, recocidos subcríticos (de ablandamiento o de acritud), recocido isotérmico y recocido blanco.

### **2.3.4 Normalizado**

Con este tratamiento se consigue afinar y homogeneizar la estructura.

Este tratamiento es típico de los aceros al carbono de construcción de 0.15% a 0.60% de carbono (bajo y medio carbono).

A medida que aumenta el diámetro de la barra, el enfriamiento será más lento y por tanto la resistencia y el límite elástico disminuirán y el alargamiento aumentará ligeramente. Esta variación será más acusada cuanto más cerca del núcleo realicemos el ensayo.

## **2.4 TRATAMIENTOS TERMOQUÍMICOS.**

### **2.4.1 Definición**

Son tratamientos de recubrimiento superficial en los cuales interviene un elemento químico el cual se deposita por proceso de difusión en la superficie del material.

### **2.4.2 Carburado, nitrurado y cianurado**

Existen varios procedimientos de endurecimiento superficial con la utilización del nitrógeno y cianuro a los que por lo regular se les conoce como carbonitrurado o cianurado. En todos estos procesos con ayuda de las sales del cianuro y del amoníaco se logran superficies duras.

#### **2.4.2.1 Carburado**

Consiste en el endurecimiento de la superficie externa del acero al bajo carbono, quedando el núcleo blando y dúctil. Como el carbono es el que genera la dureza en los aceros en el método de cementado se tiene la posibilidad de aumentar la cantidad de carbono en los aceros de bajo contenido de carbono antes de ser endurecido. El carbono

se agrega al calentar al acero a su temperatura crítica mientras se encuentra en contacto con un material carbonoso. Los tres métodos de cementación más comunes son: empacado para carburación, baño líquido y gas.

Cementación gaseosa: proceso indicado para piezas de aceros de construcción que necesitan mucha resistencia al desgaste en el exterior y mucha tenacidad en el interior.

Se realiza una aportación de carbono a la pieza creándose una capa, la cual puede ir desde 0.8 hasta 2.5 mm de profundidad.

El potencial de carbono de este proceso es controlado a través de sondas de oxígeno, de esta forma se consigue una gran homogeneidad en la capa cementada.

Aplicaciones: Piñones, coronas, ejes, levas, guías, chavetas, columnas, etc.

#### **2.4.2.2 Nitrurado**

El proceso de nitrurado es parecido a la cementación pero difiere en que el material se calienta a los 510°C y se mantiene así en contacto de gas amoníaco. De esta manera los nitruros del amoníaco ayudan a endurecer el material. También existe la modalidad líquida en la cual, el material es sumergido en un baño de sales de cianuro a la misma temperatura del nitrurado normal.

Nitruración gaseosa: Proceso desarrollado intensamente en los últimos años, tanto técnicamente como en la calidad de las instalaciones. Confiere a los materiales un

excelente “coeficiente de rozamiento” gracias a la capa dura aportada (desde 0.25 a 0.5 mm).

#### **2.4.2.2.1 Aplicaciones**

Aceros que vayan a sufrir mucho roce y necesitan una excelente resistencia al desgaste.

Matrices de extrusión de aluminio.

Moldes, correderas, postizos, etc. que vayan a trabajar en inyección de plástico.

En definitiva cualquier pieza que necesite resistencia al desgaste.

#### **2.4.2.2.2 Ventajas**

Dada la baja temperatura a la que se realiza este tratamiento se producen deformaciones inapreciables.

Se consiguen altas durezas, pudiendo alcanzar los 1100 HV dependiendo del material utilizado.

Se puede realizar un endurecimiento parcial de la zona que desee.

### **2.4.2.3 Cianurado.**

También llamado carbonitrurado líquido, el cianurado consiste en combinar la absorción de carbono y nitrógeno para obtener la dureza necesaria en materiales de bajo carbono. El material es sumergido en un baño de sales de cianuro de sodio.

## **2.5 METALOGRAFÍA**

### **2.5.1 Introducción**

La metalografía estudia microscópicamente las características estructurales de un metal o una aleación. Se realiza por reflexión de luz con un microscopio metalográfico, la preparación de la muestra consiste en desbastarla, pulirla y atacarla antes de verla por el microscopio.

Las zonas más sensibles al reactivo son atacadas rápidamente, destruyendo el pulido en esa área e impidiendo que los rayos se reflejen perpendicularmente por lo que se observan líneas o áreas oscuras.

### **2.5.2 Ensayos metalográficos**

#### **2.5.2.1 Desbaste.**

El primer paso para la preparación metalografía es el desbaste, que consiste en pasar la muestra sobre diversos papeles de lija, con tamaño de grano cada vez mas fino,

generalmente desde N 80 hasta N 500, el objetivo es aplanarla y minimizar las rayas superficiales.

#### **2.5.2.2 Pulido.**

Posteriormente del desbaste se realiza el pulido, su objetivo es eliminar completamente las rayas, dejando una superficie especular. Esto se logra pasando la muestra sobre un disco giratorio, el cual esta cubierto con un paño de fieltro, lana, etc. A esta se le agrega un abrasivo, como alumina o polvo de diamante.

Los factores más importantes que afectan a un acabado correcto son:

(a) Debe tenerse cuidado de no sobrecalentar la probeta durante el esmerilado. En acero, esto puede tener un efecto de templado.

(b) Es esencial la limpieza absoluta en cada paso.

(c) Si una probeta resulta con arañazos profundos en las últimas etapas del esmerilado, es inútil tratar de eliminarlos en el cojín pulidor. Si una probeta se pule por demasiado tiempo sobre el cojín, su superficie puede ondularse.

(d) Aplicar una presión ligera en todo momento durante el esmerilado y el pulido.

### **2.5.2.3 Ataque químico.**

Luego de pulida la muestra esta es atacada. El propósito del ataque es hacer visibles las características estructurales del metal o la aleación, como los límites de grano, los defectos o irregularidades superficiales, las diferentes fases, etc. Esto se logra poniendo en contacto la superficie pulida de la muestra con el reactivo apropiado, ocurriendo una reacción química que revela la estructura.

En las siguientes Tablas se da un resumen de los reactivos de ataque más utilizados.

**Tabla.2.1 Reactivos de ataque para hierro, aceros y hierros colados**

Tipo de agente	Composición	Características y usos
Nital	2 ml ácido nítrico; 98 ml de alcohol (espíritu metilado industrial)	El mejor reactivo de ataque general, para hierro y acero. Graba perlita, martensita y troostita, y ataca las orillas del grano de la perlita. Para hierro fundido y hierro forjado, la concentración de ácido nítrico puede elevarse a 5 ml. Para resolver, un atacado de perlita, debe ser muy ligero. Adecuado también para hierros ferríticos vaciados grises y hierros maleables negros.
Pical	4 g ácido pícrico; 96 ml alcohol	Excelente para atacar perlita y estructuras esferoidizadas, pero no ataca a los bordes del grano a ferrita. Es el reactivo adecuado para todos los hierros vaciados, con excepción de los hierros de aleación y completamente ferríticos.
Picrato de sodio alcalino	2 g ácido pícrico; 25 g hidróxido de sodio; 100 ml agua	Se disuelve hidróxido de sodio en agua agregando luego el ácido pícrico. Se calienta todo en baño de agua hirviendo, por 30 minutos y se vierte el líquido claro. La probeta se ataca durante 5 a 15 minutos en la solución hirviendo. Su aplicación principal consiste en distinguir entre ferrita y cementita. La última se mancha en negro pero la ferrita no es atacada.
Acidos y glicerol mezclados	10 ml ácido nítrico; 20 ml ácido clorhídrico; 20 ml glicerol; 10 ml peróxido de hidrógeno	Adecuado para aleaciones de níquel-cromo y aceros austeníticos con base de hierro-cromo. También para otros aceros austeníticos, aceros de alto cromo-carbono y aceros de alta velocidad. Calentar la probeta en agua hirviendo antes de su inmersión.
Persulfato ácido de amonio	10 ml ácido clorhídrico; 10 g persulfato de amonio; 80 ml agua	Particularmente adecuada para aceros inoxidables. Debe estar recientemente preparada para usarse.

**Tabla 2.2.- Reactivos de ataque para Aluminio y sus aleaciones**

Tipo de agente	Composición	Características y usos
Acido clorhídrico diluido	0.5 ml ácido fluorhídrico; 99.5 ml agua	Esta probeta se frota mejor con algodón impregnado en el reactivo. Un reactivo general bueno.
Solución de sosa cáustica	1 g hidróxido de sodio; 99 ml agua	Un reactivo general bueno para frotar.
Reactivo de Keller	1 ml ácido fluorhídrico; 1.5 ml ácido clorhídrico; 2.5 ml ácido nítrico; 95 ml agua	Util particularmente para aleaciones del tipo duraluminio. Ataque por inmersión por 10-20 segundos.
<p><b>NOTA:</b> Por ningún motivo debe permitirse que el ácido fluorhídrico entre en contacto con la piel o los ojos. Debe tenerse cuidado con todos los ácidos fuertes.</p>		



Tabla 2.3.- Reactivos de ataque para Cobre y sus aleaciones

Tipo de agente	Composición	Características y usos
Persulfato amoniacal de amonio	20 ml hidróxido de amonio (0.880); 10 g persulfato de amonio; 80 ml agua	Un buen agente, para revelar bordes de grano en cobre puro, latones y bronces. Debe estar recientemente preparada para dar los mejores resultados.
Amoniaco-peróxido de hidrógeno	50 ml hidróxido de amonio (0.880); 20-50 ml peróxido de hidrógeno (solución al 3%); 50 ml agua	El mejor reactivo general para cobre, latones y bronces ataca los bordes del grano y da un contraste moderado. El contenido de peróxido de hidrógeno puede variarse para adaptarlo a aleaciones particulares. Se usa por frotamiento o inmersión, y debe ser recientemente preparada ya que el peróxido de hidrógeno se descompone.
Cloruro férrico ácido	10 g cloruro férrico; 30 ml ácido clorhídrico; 120 ml agua	Produce un ataque de gran contraste sobre latones y bronces. Oscurece la $\beta$ en latones. Puede usarse después del ataque a los bordes del grano con el persulfato de amoniaco. Usese sin diluir para aleaciones de cobre ricas en níquel. Dilúyase una parte en dos partes de agua para soluciones sólidas ricas en cobre, en latón, bronce y bronce de aluminio.
Solución ácida de bicromato	2 g bicromato de potasio; 8 ml ácido sulfúrico; 4 ml solución de cloruro de sodio saturado; 100 ml agua	Util para bronce al aluminio y latones y bronces complejos. También para aleaciones de berilio, manganeso y silicio con cobre, y para placas de níquel.

Tabla 2.4.- Reactivos de ataque para Cinc y sus aleaciones

Tipo de agente	Composición	Características y Usos
Núm. 1. Reactivo Palmerton .....	CrO <sub>3</sub> (99,95%) .... 200 g Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (q.p.) ..... 15 g H <sub>2</sub> O .....1000 cc	General. Para poner de manifiesto la estructura en aleaciones que contienen cobre. Inmersión con agitación suave. Después lavar con  CrO <sub>3</sub> ..... 200 g H <sub>2</sub> O .....1000 cc
Núm. 2. Reactivo Palmerton diluido.	CrO <sub>3</sub> (99,95%) .... 50 g Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (q.p.) ..... 4 g H <sub>2</sub> O .....1000 cc	Estructura de aleaciones coladas en coquilla y contraste entre las mismas y recubrimientos. Inmersión durante 2 a 3 segundos seguida de lavado como en núm. 1.
Núm. 3. Acido nítrico diluido .....	A. HNO <sub>3</sub> (conc.).. 1 gota Alcohol etílico. .25 cc  B. HNO <sub>3</sub> (conc.).. 3 gotas Alcohol amilico..... 50 cc	Para observar el recubrimiento con aleaciones de cinc en el hierro o acero galvanizados. Es preferible para este fin el reactivo B. Atacar por inmersión. El reactivo B debe usarse dentro de 1 hora después de la mezcla y la probeta se debe lavar con alcohol etílico
Núm. 4. Anhídrido crómico .....	CrO <sub>3</sub> ..... 200 g Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ..... 7 g NaF ..... 2 g H <sub>2</sub> O .....1000 cc	Aleaciones coladas en coquilla. Pone de manifiesto la fase gamma. Inmersión por unos 2 seg. Las aleaciones que contienen cobre deben lavarse (1 seg) en  CrO <sub>3</sub> ..... 50 g Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ..... 4 g H <sub>2</sub> O .....1000 cc El lavado final en una solución de CrO <sub>3</sub> (puro).. 200 g H <sub>2</sub> O .....1000 cc
Núm. 5 Acido clorhídrico .....	HCl (conc.) ..... 5 cc Alcohol etílico .....95 cc	Contraste entre fundiciones en coquilla y recubrimientos. Inmersión durante 2 ó 3 segundos.
Núm. 6. Acido clorhídrico .....	HCl (conc.).	Macroestructura del cinc puro. Inmersión durante 2 ó 3 segundos.

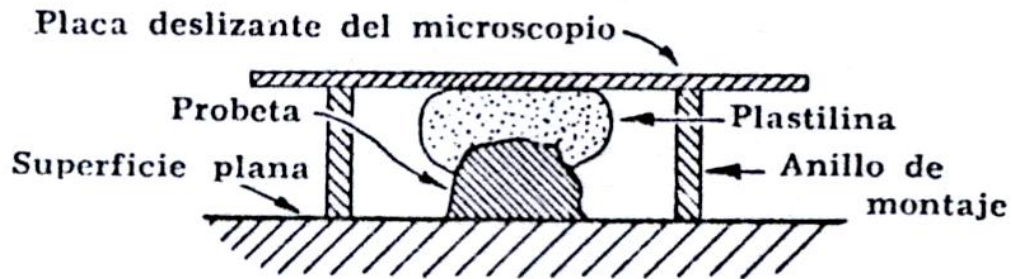
**Tabla 2.5.- Reactivos de ataque para aleaciones misceláneas**

Tipo de reactivo	Composición	Características y usos
Acidos acético y nítrico	3 ml ácido acético glacial; 4 ml ácido nítrico; 16 ml agua	Util para <i>plomo y sus aleaciones</i> (útese recientemente preparado y con ataque por 4-30 minutos). Es útil también 5% de nital para <i>plomo y sus aleaciones</i> .
Acido acético y peróxido de hidrógeno	30 ml ácido acético glacial; 10 ml peróxido de hidrógeno (solución al 30%)	Adecuado para <i>aleaciones de plomo-antimonio</i> . Atacar por 5 a 20 segundos.
Cloruro férrico ácido	10 g cloruro férrico; 2 ml ácido clorhídrico; 95 ml agua	Adecuado para metales de chumaceras ricos en estaño. Pueden atacarse otras aleaciones ricas en estaño, en 5% de nital.

Tipo de agente	Composición	Características y usos
Acido clorhídrico diluido en alcohol	1 ml ácido clorhídrico; 99 ml alcohol (espíritu metilado industrial)	Para <i>cinc y sus aleaciones</i> . Es también útil 1% de nital.
Solución de yodo	10 g cristales de yodo; 30 g yoduro de potasio; 100 ml agua	El mejor agente para <i>aleaciones cadmio bismuto</i>
Acido nítrico y ácido acético, mezclados	50 ml ácido nítrico; 50 ml ácido acético glacial	Adecuado para níquel y metal monel. Debe estar recientemente preparado.

#### 2.5.2.4 Examen micrográfico

Las probetas se colocan en foco, usando primero el ajuste burdo y luego el fino. Debe notarse que los lentes están diseñados, generalmente, para trabajar con una longitud de tubo fija (generalmente 20cm) condiciones bajo las cuales da los resultados óptimos. Por lo tanto, el tubo que contiene al ocular debe ser alargado la cantidad



**Fig. 2.2 Montaje de una probeta para examen bajo el microscopio apropiada (generalmente se tiene una escala grabada a un lado del tubo). Pueden, luego, hacerse ajustes ligeros en el tubo, para adaptarlo al ojo individual.**

Finalmente, el iris incluido en el sistema de iluminación debe cerrarse hasta un punto en que la iluminación comienza a disminuir. Esto limitará el deslumbramiento debido a los reflejos internos en el tubo.

Es un error suponer que una alta amplificación, en el rango de 500 a 1 000, es siempre la más útil. De hecho, con frecuencia darán una impresión de la estructura carente de significado, puesto que el campo bajo observación será muy pequeño. Las propiedades direccionales en estructuras forjadas o la formación dendrítica en las estructuras vaciadas, se ven mejor usando potencias bajas de 40 X a 100 X. Aún a 40 X un sólo cristal de, por ejemplo, latón vaciado 70-30 puede llenar completamente el campo de visión. El patrón dendrítico, sin embargo, será claramente aparente; mientras que a 500 X sólo se tendrá una pequeña área entre los dos brazos dendríticos, en el campo de visión.

## EXAMEN METALOGRÁFICO A LAS PROBETAS SAE 1015 Y

### SAE 1045



**Fig. 2.3 Acero SAE 1015**



**Fig. 2.4 Acero SAE 1045**

Las micrografías obtenidas de los exámenes, reafirman que la muestra Fig. 2.3 es un acero SAE 1015 según la distribución de 2 fases; ferrita (blanca) y perlita (marrón) atacada con nital 2 vista a 200 x. Las micrografías de la siguiente muestra Fig.2.4 reafirman que se está trabajando con un acero SAE 1045, así lo muestra el contenido de ferrita y de la perlita laminar.

## 2.6 EQUIPOS DE LABORATORIO



**Fig. 2.5 Cortadora de muestras metalográficas**



**Fig2.6 Equipo de montaje para probetas metalográficas (automático)**



**Fig. 2.7 Equipo de montaje para probetas (Manual)**



**Fig. 2.8 Mesa de desbaste**



**Fig. 2.9 Máquina de pulido con sistema de regulación de velocidades de 150 a 300 revoluciones**



**Fig. 2.10 Reactivos de ataque químico**





**Fig. 2.11 Microscopio metalográfico con software de sistema de video.**

**(Imágenes cortesía del laboratorio Metalográfico de la ESPOCH)**

## CAPÍTULO III

### LABORATORIO DE METALOGRAFÍA

#### 3.1 INSTALACIÓN DE LABORATORIO

Las condiciones que debe reunir un laboratorio varían según su finalidad; así un laboratorio universitario es muy distinto del de una fábrica o de un centro semi-industrial de investigación. No obstante, al proyectarlo se tendrá que tomar en cuenta el local, la ventilación e iluminación, por que son muchas las horas que en el pasará el personal y los estudiantes dedicados a la experimentación. Entre las instalaciones que debe tener un laboratorio bien montado y completo citaremos las siguientes: gas, corriente eléctrica, agua fría y caliente, vapor de agua, vacío, aire a presión, calefacción refrigeración, ventilación, etc.

Las tuberías, con el fin de distinguirlas fácilmente, deben ser pintadas con los colores siguientes:

Vapor.....	rojo
Agua.....	verde
Aire.....	azul
Gas.....	amarillo
Vacío.....	gris

Las mesas tienen que ser amplias y de madera. Las de cristal resultan duras y quebradizas, las de pizarra son muy duras y frías y las de plomo se ensucian mucho. Para hornos, muflas, etc., conviene que sean de ladrillo, barnizado o sin barnizar, puesto que las de madera se deforman rápidamente por efecto del calor.

Los laboratorios deben disponer de departamentos especiales para manejo de gases malolientes, biblioteca, almacén, taller mecánico, aseo, etc. Para evaporar líquidos nocivos es necesario que tengan vitrinas amplias y bien ventiladas.

Para casos de fuego hay que colocar, en las salas de trabajo y departamentos especiales, extintores, mantas de amianto y duchas, muy útiles cuando al operador se le enciende las ropas.

Los laboratorios deben estar, a ser posible, alejados de barrios habitados, vías férreas, fábricas o instalaciones que produzcan vibraciones.

### **3.1.1 Generalidades sobre el local**

#### **3.1.1.1 Techos**

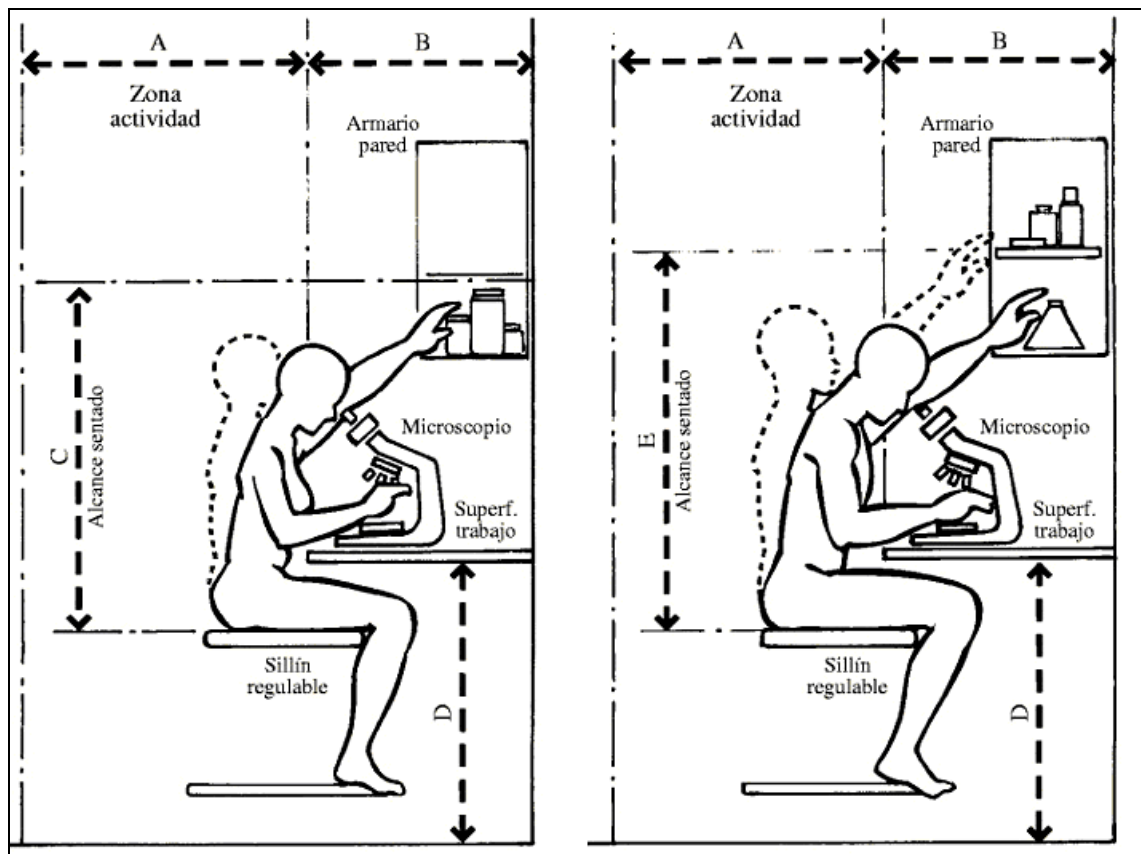
Los laboratorios deben tener una altura no inferior a 3 m. El techo, donde habitualmente están situados los sistemas de iluminación general, debe estar construido con materiales de elevada resistencia mecánica y pintado o recubierto por superficies fácilmente lavables, evitándose la acumulación de polvo y materiales tóxicos.

### **3.1.1.2 Suelos**

Normalmente, los suelos suelen estar proyectados para una sobrecarga de uso mínimo de 300 kg /m<sup>2</sup> aunque en los recintos del departamento en que vayan a instalarse equipos o máquinas pesadas, estas cifras deben ser superiores. Es recomendable que tengan una base rígida y poco elástica, para evitar vibraciones especialmente en tareas como la pesada o el análisis instrumental.

### **3.1.1.3 Puesto de trabajo**

El diseño del puesto de trabajo debe tener en cuenta las recomendaciones básicas establecidas en relación con las medidas antropométricas y también que en el trabajo de laboratorio pueden alternarse las posiciones de pie o sentado. En el primer caso, implica que el plano de trabajo tenga una altura del orden de 95 cm, considerando que dicho plano debe estar entre 5 y 10 cm por debajo del codo. Por otro lado, para poder realizar el trabajo sentado con esta altura del plano de trabajo, se recomiendan sillas con respaldo y reposapiés, siendo preferibles a los clásicos taburetes, así como disponer de espacio suficiente para colocar los pies debajo del plano. Si se trata de puestos de trabajo de postura sentada, como por ejemplo el trabajo con microscopio, tendrán que tener las medidas adecuadas (ver figura 3.1), teniendo en cuenta, además el acceso a las estanterías que contienen materiales o productos. Si el trabajo es de pie estas estanterías no deben estar situadas a más de 150 cm de altura. Las distancias óptimas para el trabajo encima de una mesa se resumen en la figura 3.2, que, de manera indirecta, indican también el espacio necesario para cada trabajador.



<b>A</b>	Zona de actividad	70 cm.
<b>B</b>	Anchura mesa	60 cm.
<b>C</b>	Alcance sentado	100 cm.
<b>D</b>	Altura mesa	75 – 90 cm.
<b>E</b>	Alcance sentado	110 cm.

**Figura 3.1 Trabajo sentado en el laboratorio. Distancias y alcances adecuados para mujer (izquierda) y hombre (derecha)**

Las sillas deben proporcionar el equilibrio y confort suficientes y tener en cuenta las siguientes características de diseño:

Anchura entre 40-45 cm

Profundidad entre 38-42 cm

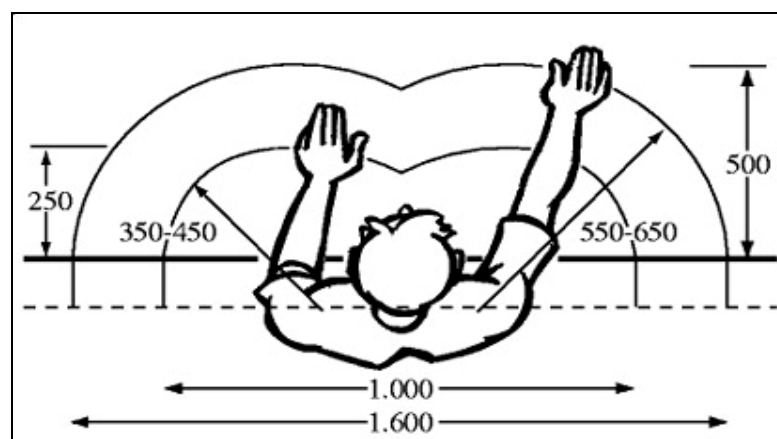
Base estable provista de 5 patas con ruedas

Disponibilidad de margen de regulación en altura, superior al habitualmente recomendado (38-50 cm)

Asiento acolchado (2 cm sobre base rígida con tela flexible y transpirable)

Impermeabilidad e incombustibilidad según las características del tipo de trabajo.

Finalmente en cuanto a aspectos estrictamente estéticos, como el color, deberá atenderse a lo expuesto más adelante sobre combinaciones de colores generalmente aceptables y sus incompatibilidades.



**Fig. 3.2 Área de trabajo sobre una mesa**

### **3.1.14 Elementos vidriados**

La utilización habitual de grandes superficies acristaladas como elemento de separación entre laboratorios, permite la disponibilidad de luz natural y que disminuya la sensación de claustrofobia. Sin embargo no debe olvidarse que son un factor de inseguridad, puesto que su fácil rotura en caso de incendio hace que las llamas puedan propagarse rápidamente a otros laboratorios o locales, por lo que en ningún caso se pueden considerar como un elemento delimitador de un sector de incendios.

### **3.1.1.5 Ventanas**

Las ventanas reducen la sensación de claustrofobia y permiten la visión lejana, disminuyendo la fatiga visual, influyen en la iluminación del recinto y si son practicables (opción recomendable), posibilitan la renovación del aire en caso de necesidad.

El marco de las ventanas debe ser de material difícilmente combustible para impedir la propagación de un posible incendio a pisos superiores. Si están situadas en la planta baja no se deben poder abrir hacia el exterior, salvo que existan elementos que impidan que las personas que circulan por el exterior lo hagan cerca de ellas. En aquellos casos en que sea necesario situar mesas de trabajo frente a las mismas, la altura del antepecho no debe ser inferior a 1 m. En el caso de que hayan materiales, productos o aparatos situados delante de las ventanas, es conveniente que la parte inferior de las mismas no sea de vaivén o no se abran hacia adentro. En laboratorios con riesgo de explosión, deben acoplarse ventanas que cedan ante los efectos de una sobrepresión.

Un buen sistema es el de doble ventana, ya que amortigua el ruido exterior y reduce la pérdida de energía debida a la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior de los locales. Otro aspecto importante a considerar es la facilidad de limpieza de la cara externa de los cristales, para ello existen dos soluciones, los marcos desmontables y la utilización de doble cristal en un sistema de volteo, lo que permite la limpieza desde el interior.

#### **3.1.1.6 Entrada y salida del laboratorio**

Para facilitar la entrada y salida al recinto con las manos ocupadas, las puertas deben poderse abrir con el codo o el pie, no debiéndose acoplar sistemas de cierre de pasador, ni a las puertas de los laboratorios, ni a las de los departamentos, debido a la dificultad que representaría su apertura en caso de emergencia. Todas las puertas deben disponer de dispositivos que permitan su apertura desde dentro en cualquier circunstancia, (si es necesario, sistemas antipánico) a fin de evitar que el personal pueda quedar atrapado en el laboratorio en caso e incendio.

#### **3.1.1.7 Materiales y acabados**

En los laboratorios en que no se manipulen productos inflamables, se recomienda que materiales como alfombras o moquetas no tratadas con productos ignifugantes, ocupen una superficie inferior al 10% del local o departamento de laboratorio. Deberá tenerse un cuidado especial con elementos como las cortinas, debido a su facilidad para inflamarse al estar abundantemente aireadas. Si es necesario colocarlas en un local con



riesgo de incendio, deberán ser de un material incombustible, como, por ejemplo, la fibra de vidrio.

Finalmente, por lo que se refiere al material a emplear en las mesas de trabajo, llamadas también poyatas (o poiatas), mesas de laboratorio, mesetas o bancos de prueba o de trabajo, debe procurarse combinar su resistencia mecánica y a los agentes químicos con la facilidad de lavado y descontaminación, así como con los aspectos estéticos y de comodidad.

Respecto a la resistencia mecánica, debe valorarse, por un lado, las operaciones que se vayan a realizar, que pueden incluir golpes, raspaduras, o aplicación de material cortante, y, por otro, los instrumentos a colocar encima, que por su peso pueden romper superficies duras consideradas adecuadas por su resistencia química y/o a raspaduras y material cortante.

Aunque ya se han citado al hablar del diseño del puesto de trabajo, desde el punto de vista estrictamente de seguridad debe valorarse la conveniencia o no de disponer de estantes sobre las mesas de laboratorio o poyatas, debido al peligro de caídas y roturas de recipientes y envases de productos químicos peligrosos depositados en los mismos. No obstante, los estantes resultan de gran utilidad para depositar pequeños objetos o instrumentos utilizados normalmente en el trabajo de laboratorio, facilitando la disponibilidad de la mesa de laboratorio o poyata.

### 3.1.1.8 Color del techo, paredes, suelo y mobiliario

A modo de recomendación general, en un laboratorio se debe elegir el blanco o el crema para las paredes y mobiliario. La elección de tonos claros tiene el efecto beneficioso de aumentar la sensación de amplitud de los recintos pequeños y de facilitar la visión de la señalización y carteles indicadores.

En los despachos, cuartos de balanzas, salas de reuniones, etc., se pueden utilizar diferentes combinaciones en paredes, techos, suelo y mobiliario, para obtener un ambiente agradable. Hay que tener en cuenta que algunas combinaciones son rechazadas y otras bien aceptadas. En la tabla 3.1 se indican ejemplos de compatibilidad de colores.

**Tabla 3.1**

#### **Compatibilidad de colores**

<b>MEZCLAS CONSIDERADAS INCOMPATIBLES</b>	<b>COMBINACIONES GENERALMENTE BIEN ACEPTADAS</b>			
	<b>TECHO</b>	<b>PARED</b>	<b>SUELO</b>	<b>MUEBLES</b>
Azul - verde	Blanco	Verde pálido	Verde pálido	Gris verdoso
Rojo - verde	Blanco	Rosa pálido	Tabaco claro	Castaño
Azul - marrón	Blanco	Azul pálido	Gris	Gris

### **3.1.1.9 Ventilación**

El sistema de ventilación debe ser en dirección hacia fuera solamente. De acuerdo al tamaño del laboratorio, se contará con la cantidad de salidas de aire necesarias para la adecuada climatización.

### **3.1.2.10 Iluminación**

El nivel de iluminación del laboratorio debe adaptarse a las exigencias visuales de los trabajos que se realicen en él. Siempre que sea posible se recomienda disponer de iluminación natural complementada con iluminación artificial para garantizar las condiciones de visibilidad adecuadas durante la jornada laboral. En aquellas tareas en que se precisen niveles de iluminación específicos se colocaran puntos de iluminación localizada.

De acuerdo con el RD 486/1997 y normas UNE 72163:84y 72112:85 (ver tabla 4), se considera que el nivel de iluminación general adecuado para el laboratorio es de 500 lux. Cuando los niveles de exigencia visual de la tarea sean muy altos el nivel de iluminación mínimo es de 1000 lux. En el proyecto de norma europea prEN 12464, apartado B: «Actividades Industriales y Artesanales» también se considera que el nivel de iluminación adecuado para los laboratorios es de 500 lux.

**Tabla 3.2**

**Niveles de iluminación**

<b>R. D. 486/97</b>		<b>NORMAS UNE 72163:84 y 72112:85</b>	
<b>Exigencias de la tarea</b>	<b>Nivel mínimo requerido(Lux)</b>	<b>Categoría de la tarea</b>	<b>Nivel mínimo recomendado</b>
Bajas	100	D (fácil)	200
Moderadas	200	E (normal)	500
Altas	500	F (difícil)	1000
Muy altas	1000	G (muy difícil)  H (complicada)	2000   5000

**3.2 NORMAS DE SEGURIDAD DE LABORATORIO**

**3.2.1 Introducción**

El trabajo en el Laboratorio requiere la observación de una serie de normas de de seguridad que eviten posibles accidentes debido a desconocimiento de lo que se está haciendo o a una posible negligencia de los alumnos y alumnas que estén en un momento dado, trabajando en el Laboratorio.

### **3.2.2 Normas personales**

Cada grupo de prácticas se responsabilizará de su zona de trabajo y de su material.

Es conveniente la utilización de bata, ya que evita que posibles proyecciones de sustancias químicas lleguen a la piel. Y por supuesto evitar posibles deterioros en prendas de vestir.

Para personas con cabello largo es mejor que lo mantengan recogido.

En el laboratorio está terminantemente prohibido fumar, tomar bebidas ni comidas.

### **3.2.3 Normas utilización de productos químicos**

Antes de utilizar un compuesto, asegurarse bien de que es el que se necesita, fijarse bien el rótulo.

Como regla general, no coger ningún producto químico. El profesor lo proporcionará.

No devolver nunca los sobrantes de los productos utilizados a los frascos de origen sin consultar con el profesor.

Es muy importante que cuando los productos químicos de desecho se viertan en la pila de desagüe, aunque estén debidamente neutralizados, debe dejarse que circule por la misma, abundante agua.

No tocar con las manos y menos con la boca, los productos químicos.

Los ácidos requieren un cuidado especial. Cuando se quiera diluirlos, nunca se debe verter agua sobre ellos, siempre al contrario; es decir, ácido sobre agua.

Los productos inflamables (gases, alcohol, éter, etc.) no deben estar cerca de fuentes de calor.

Si se vierte sobre usted cualquier ácido o producto corrosivo, lávese inmediatamente con mucha agua y comunique al profesor.

Al preparar cualquier disolución se colocará en un frasco limpio y rotulado convenientemente.

### **3.3 LABORATORIO DE METALOGRAFÍA DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.**

#### **3.3.1 Descripción.**

El Laboratorio de metalografía de la Escuela Politécnica Nacional posee 10 metros. De largo por 8 metros de ancho y 3 metros de alto. Con su respectiva iluminación, una mesa central de 3 metros de largo y aproximadamente una capacidad para 15 alumnos.

En el primer espacio ubicado al lado izquierdo de la entrada se encuentra un horno de mufla a una altura de 90 centímetros (Fig3.3). Con la respectiva toma de luz, a dos metros del horno se encuentra el kit para ataque químico (Fig3.4) ubicado justo a un lado de la ventana para no afectar la salud del estudiante al momento de atacar las probetas con una toma de agua para dos grifos.



**Fig. 3.3 horno de mufla**



**Fig 3.4 kit de ataque químico**

En el segundo espacio con la ventana de frente encontramos una maquina eléctrica para pulir las probetas (Fig. 3.5) y a un metro de distancia diez mesas de desbaste marca buhler (Fig3.6) ubicadas a 1 metro y 5 cts de alto con 7.50 cts de largo con 5 tomas de agua con doble salida para cada mesa.



**Fig. 3.5 Máquina eléctrica para pulir las probetas**



**Fig. 3.6 Mesas de desbaste**



En el tercer espacio se observa una cortadora de probetas metalográficas (Fig. 3.7) y tres máquinas para pulido eléctrico (Fig 3.8).



**Fig. 3.7** Cortadora de probetas metalográficas



**Fig 3.8** Pulidoras eléctricas

En el cuarto espacio hay una mesa con dos prensas manuales (Fig. 3.9) y a la derecha un pizarrón (Fig. 3.10).



**Fig. 3.9** Mesa con dos prensas manuales



**Fig. 3.10** Pizarrón.

En la fig. 3.11 se observa una mesa central con una división en la primera se ve un microscopio y un cuadro de microestructuras (fig. 3.12) y en la segunda hay tres mecheros bunsen (fig313) y un cilindro de gas (fig 3.14).



**Fig. 3.11 Mesa central**



**Fig. 3.12 Microscopio y cuadro de microestructuras**



**Fig. 3.13 Mecheros bunsen**



**Fig. 3.14 Cilindro de gas**

El aula es iluminada por ocho fluorescentes de 1 metro y 30 ctms de largo cada uno.

Y en otra habitación de 3 x 2 metros hay dos microscopios metalográficos (fig. 3.16) y un durómetro (fig. 3.17).



**Fig. 3.15 Microscopios metalográficos**



**Fig. 3.16 Durómetro**

## CAPÍTULO IV

### ESTUDIO ECONÓMICO

En este capítulo se detallará el costo individual de la implementación del laboratorio de metalografía.

#### 4.1 PRESUPUESTO

Antes de realizar este proyecto se hizo un presupuesto estimado en 450 USD.

#### 4.2 ANÁLISIS ECONÓMICO

En la construcción de este proyecto se ha considerado tres factores económicos muy importantes como son:

1. Mesón para Laboratorio.
2. Reactivos de ataque químico.
3. Microscopio metalográfico.
4. Otros.

**1.Mesón para Laboratorio.-** Este factor comprende todos los materiales requeridos y utilizados para la construcción del mesón del laboratorio.

Tabla 4.1: Materiales utilizados en la construcción del mesón para el laboratorio.

Materiales utilizados en la construcción del mesón para el laboratorio	
Detalle	Valor USD
0,5 QQ de varilla 10 MM X 12 M	15,81
0,5 QQ de varilla 8 MM X 12M	15,81
1 Libra de clavos 2,5"	0,54
2 Libras de alambre de amarre	1,08
6 Sacos 50 KG de cemento	33,48
1 Fregadero	22,35
1 Llave para fregadero	18,60
2 Cajinetes rectangulares	0,62
2 tomacorrientes	1,90
6 Pingos	3,00
7 Tablas de encofrado	8,40
30 Bloques de 10	3,50
1 Pala de ripio	2,50
1 Pala de arena	2,50
1 Litro de pintura esmalte blanco	12,63
2 Litros de thinner	2,24
<b>Total de materiales</b>	<b>144,96</b>
<b>Gasto individual</b>	<b>48,32</b>

**2. Reactivos de ataque metalográfico.-** Los reactivos de ataque son específicos para aleaciones de aluminio, cobre, zinc, níquel – cromo, aceros de bajo, medio y alto carbono, aceros templados, aceros inoxidable y un reactivo universal.

Tabla 4.2: Reactivos de ataque metalográfico.

Reactivos de ataque metalográfico	
Detalle	Valor USD
Aleaciones de aluminio	4,27
Aleaciones de cobre	10,17
Bajo carbono	10,60
Aceros de medio, alto carbono, fundición	10,30
Aceros templados	20,00
Aceros inoxidables	26,50
Aleaciones de níquel – cromo	23,50
Aleaciones zinc	16,62
Reactivo universal de ácido molibdico	18,25
<b>Total de Reactivos de ataque metalográfico + IVA</b>	<b>134,40</b>

**3. Microscopio metalográfico.-** para adquirir el microscopio la escuela de mecánica aeronáutica del I.T.S.A nos auspicio el 50% del total del mismo y el otro 50% fue cancelado por tres estudiantes que implementamos el Laboratorio.

Tabla 4.3: Microscopio metalográfico.

Microscopio metalográfico	
Detalle	Valor USD
Microscopio metalográfico invertido marca Olympus Modelo MGK, con ocular WF10x y objetivos 5x, 10x y 40 x. Total + IVA y menos el 50% que el I.T.S.A auspicia	1680
	840
<b>Gasto individual</b>	<b>280</b>



**4. Otros.-** Este punto comprende el alquiler de Internet, gastos de transporte, impresión, etc.

Tabla 4.4: Costo de otros gastos.

Costo de otros gastos	
Detalle	Valor USD
Otros	60
Total de otros gastos	60

Tabla 4.5 Costo total del proyecto.

Costo total del proyecto	
Detalle	Valor USD
1. Mesón para Laboratorio (Gasto individual)	48,32
2. Reactivos de ataque químico	134.40
3. Microscopio metalográfico	280
4. Otros	60
Total del proyecto	522,72

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

➤ El laboratorio de metalografía implementado es básico y los temas son extensos limitándose las prácticas de acuerdo a los equipos existentes; por lo cual, la guía propuesta satisface la secuencia procesal de ensayos básicos a realizarse en el laboratorio.

➤ El estudio de las prácticas de ensayos metalográficos que se realizan en los laboratorios correspondientes han permitido determinar un grupo básico a realizarse en el laboratorio de metalografía implementado en la institución.

➤ La información recopilada y el establecimiento de las prácticas a realizarse, así como, los materiales a ser ensayados han permitido determinar los reactivos básicos que se debe tener en el laboratorio de metalografía.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Tener presente las normas de seguridad del laboratorio y antes de cada práctica el instructor deberá dar todas las precauciones para evitar lesiones, cortes o quemaduras.
  
- Una vez que las probetas ya fueron analizadas se recomienda que se las reutilice en prácticas siguientes hasta que pierdan su maquinabilidad.
  
- Para obtener resultados satisfactorios de probetas metalográficas es importante seguir la secuencia sin saltarse ningún procedimiento.
  
- Mediante el desarrollo del presente proyecto se detectó la necesidad de un horno de mufla y un durómetro por lo que se recomienda que la institución lo adquiera o lo construya.

## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA DE LABORATORIO Y GUÍA DE PRÁCTICAS PARA LABORATORIO BÁSICO DE METALOGRAFÍA**

#### **6.1 PROPUESTA DE LABORATORIO**

##### **6.1.1 INTRODUCCIÓN**

La metalografía esencialmente es el estudio de las características estructurales de un metal o una aleación para relacionar ésta con las propiedades físicas y mecánicas, la parte más importante de la metalografía es sin duda el examen microscópico de una probeta adecuadamente preparada. Estos estudios microscópicos tienen una finalidad la cual es proporcionar abundante información sobre la constitución del metal o aleación, mediante estos estudios se puede definir características estructurales, con toda claridad se puede conocer la forma y distribución de las fases que componen la aleación y de las inclusiones no metálicas, así como la presencia de segregaciones y otras heterogeneidades que tan profundamente pueden modificar las propiedades mecánicas y el comportamiento general del metal. Una vez que el examen microscópico permite la determinación de estas y otras características constitucionales se puede predecir con seguridad el comportamiento del metal cuando se utilice para un fin específico y con ciertas limitaciones la microestructura refleja la historia completa del tratamiento mecánico y térmico que ha sufrido el material.

Nada se podrá obtener del examen microscópico si antes no se prepara la probeta, siguiendo una secuencia de normas más o menos rígidas y precisas.

### **6.1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El Laboratorio Básico de Metalografía a ser instalado en el I.T.S.A no cuenta con una Guía de prácticas que de a conocer los procedimientos secuenciales y obtener satisfactoriamente muestras metalográficas, así los estudiantes no complementan el estudio teórico con el práctico.

### **6.1.3 JUSTIFICACIÓN**

La Guía de prácticas para el Laboratorio Básico de Metalografía a ser instalado en el I.T.S.A brindará al estudiante conocimientos básicos para obtener muestras metalográficas y complementar los estudios teóricos con los prácticos.

### **6.1.4 OBJETIVO**

#### **6.1.4.1 Objetivo general**

- Elaborar la Guía de Prácticas para el Laboratorio Básico de Metalografía que servirá de ayuda didáctica y práctica para las próximas promociones.

### **6.1.5 ALCANCE**

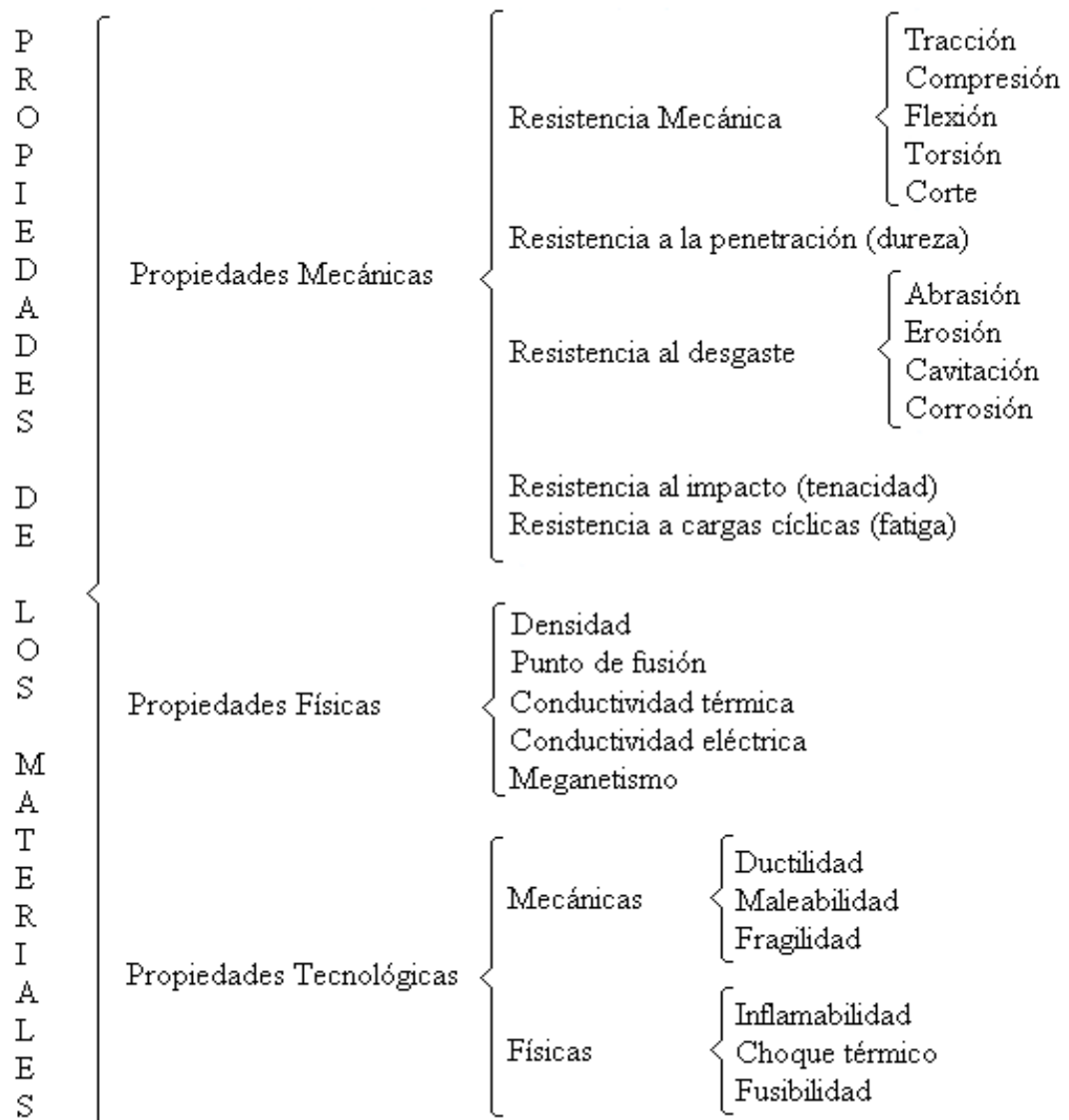
La presente Guía de prácticas tiene por alcance desarrollar procedimientos secuenciales que los estudiantes deben realizar con la finalidad de poder observar a través del microscopio las microestructuras de los materiales cuya probeta se ensaya.

El Docente y el Encargado del Laboratorio basándose en esta guía podrán establecer resultados esperados y de esta manera complementar el estudio teórico con el práctico.

## 6.1.6 MARCO TEÓRICO

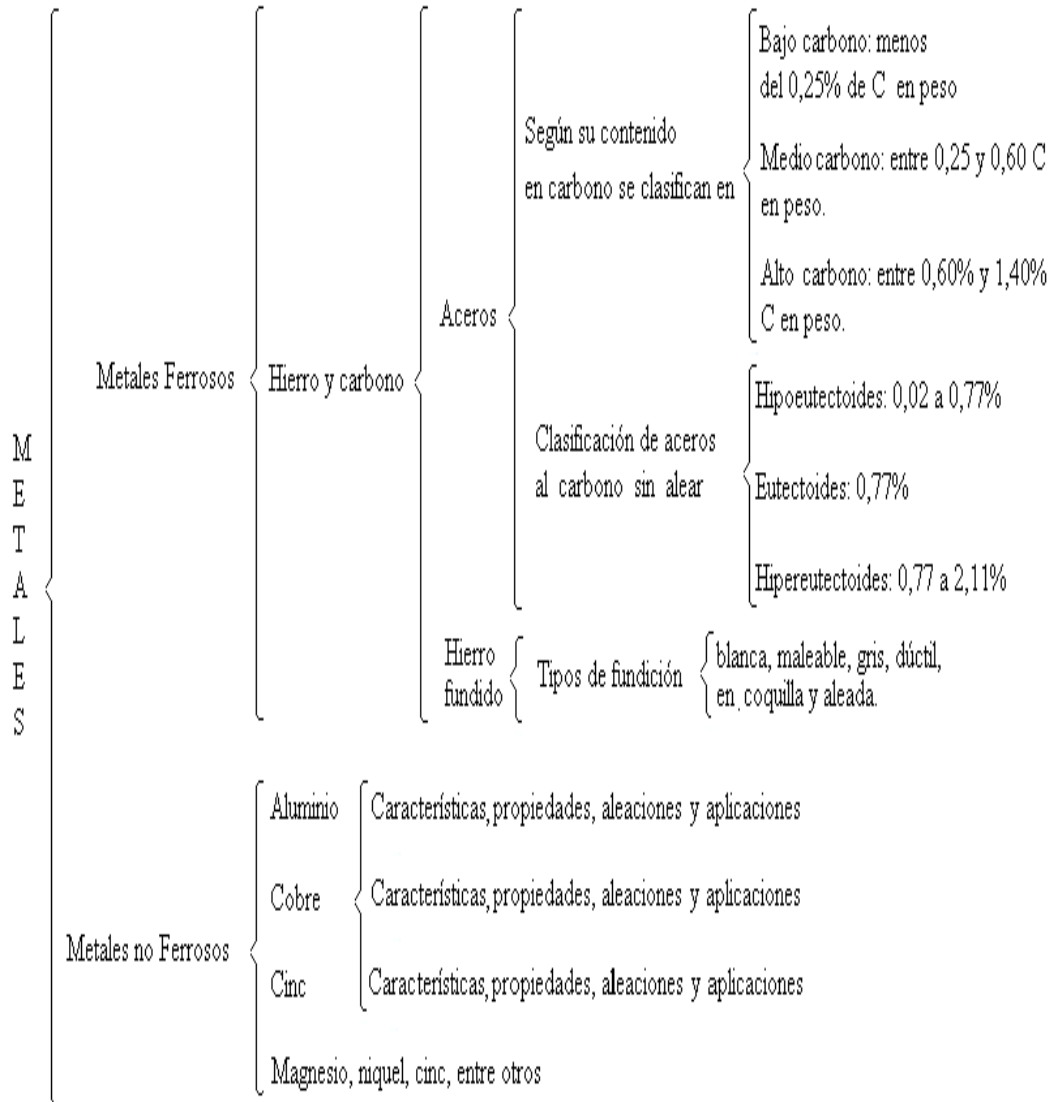
### 6.1.6.1 Materiales

El estudio de los materiales se basa en las propiedades que estos presentan. Estas propiedades se pueden dividir según el punto de vista de Ingeniería Mecánica como:



### 6.1.6.2 Metales ferrosos y no ferrosos

#### METALES FERROSOS Y NO FERROSOS



### 6.1.6.3 Tratamiento térmico para materiales ferrosos (aceros)

Son ciclos de calentamiento y enfriamiento a los cuales se somete un material con el fin de variar su dureza y cambiar su resistencia mecánica.



#### **6.1.6.3.1 Temple**

Consiste en un calentamiento seguido de un enfriamiento. Con este tratamiento se consigue aumentar la dureza y la resistencia mecánica del acero.

#### **6.1.6.3.2 Revenido**

Es un tratamiento complementario y similar al temple, del que se diferencia en la velocidad de enfriamiento. Mediante el revenido se consigue cierta tenacidad para evitar posteriores deformaciones.

#### **6.1.6.3.3 Recocido**

Busca "ablandar" el acero para facilitar el mecanizado posterior de la pieza.

#### **6.1.6.3.4 Normalizado**

Es uno de los tratamientos más conocidos, que se usa para afinar y homogeneizar la estructura.

#### **6.1.6.4 Tratamientos termoquímicos para materiales ferrosos (aceros)**

##### **6.1.6.4.1 Cementación**

Es un tratamiento donde cambia la composición química superficial del acero al ponerlo en contacto con carbono, y luego de ser apropiadamente templado adquiere mayor dureza en esa sección.

##### **6.1.6.4.2 Nitruración**

Es un tratamiento térmico superficial de un acero consiste en poner en contacto la pieza con un material nitrogenoso a temperatura adecuada, obteniéndose alta dureza superficial sin necesidad de tratamiento térmico superior.

##### **6.1.6.4.3 Cianuración**

Consiste en calentar el acero por encima de la crítica inferior  $A_{c1}$ , en un baño de sal de cianuro fundido ocurriendo una absorción en la superficie del acero de carbono y nitrógeno el enfriamiento posterior produce una capa superficial dura.

##### **6.1.6.5 Metalografía**

La metalografía estudia microscópicamente las características estructurales de un metal o una aleación, la preparación de la muestra consiste en el desbaste, pulido, ataque químico, y examen microscópico de la muestra.

#### **6.1.6.5.1 Desbaste**

Es el primer paso para la preparación de probetas se logra al pasar la muestra por diferentes papeles de lija cada vez más finos el objetivo es aplanar y minimizar las rayas superficiales.

#### **6.1.6.5.2 Pulido**

Una vez desbastada la probeta se la pasa sobre un disco giratorio cubierto con un paño de fieltro, lana, etc, a esta se le agrega un abrasivo como alumina o polvo de diamante, e objetivo es eliminar completamente las rayas dejando una superficie especular.

#### **6.1.6.5.3 Ataque químico**

Luego de pulida la muestra esta es atacada. El propósito del ataque es hacer visibles las características estructurales del metal o la aleación, como los límites de grano, los defectos o irregularidades superficiales, las diferentes fases, etc. Esto se logra poniendo en contacto la superficie pulida de la muestra con el reactivo apropiado, ocurriendo una reacción química que revela la estructura.

#### **6.1.6.5.4 Examen micrográfico**

Una vez atacadas las probetas se las colocan en foco, con el fin de observar las microestructuras que estas presentan usando primero el ajuste burdo y luego el fino.

### **6.1.7 Equipos de laboratorio**

▪ Los equipos más utilizados en un Laboratorio de Metalografía son:

▪ Cortadora de muestras metalográficas.

▪ Equipo de montaje para probetas metalográficas (automático o manual).

▪ Mesa desbastadora.

▪ Máquina para pulido con sistema de regulación de velocidades de 150 a 300 revoluciones.

▪ Reactivos para el ataque químico.

▪ Microscopio metalográfico.

### **6.1.8 Laboratorio de Metalografía**

#### **6.1.8.1 Instalación de laboratorio**

Al instalar un laboratorio se tendrá que tomar en cuenta el local, la ventilación e iluminación, por que son muchas las horas que en el pasará el personal y los estudiantes dedicados a la experimentación.

### **6.1.8.1.1 Generalidades sobre el local**

#### **6.1.8.1.1.1 Techos**

Los laboratorios deben tener una altura no inferior a 3 m. y recubiertos por superficies fácilmente lavables, evitándose la acumulación de polvo y materiales tóxicos.

#### **6.1.8.1.1.2 Suelos**

Es recomendable que tengan una base rígida y poco elástica, para evitar vibraciones especialmente.

#### **6.1.8.1.1.3 Puesto de trabajo**

Para el trabajo de laboratorio pueden alternarse las posiciones de pie o sentado. En el primer caso, implica que el plano de trabajo tenga una altura del orden de 95 cm, considerando que dicho plano debe estar entre 5 y 10 cm por debajo del codo. Por otro lado, para poder realizar el trabajo sentado con esta altura del plano de trabajo, se recomiendan sillas con respaldo y reposapiés.

#### **6.1.8.1.1.4 Elementos vidriados**

No se pueden considerar como un elemento delimitador de un sector de incendios.

La ventaja que brindan estos elementos es permitir la disponibilidad de luz natural y la disminución de sensación de claustrofobia.

#### **6.1.8.1.1.5 Entrada y salida del laboratorio**

La entrada y salida al recinto debe ser lo más fácil de modo que se puedan abrir con las manos ocupadas, usando codos o pies.

#### **6.1.8.1.1.6 Ventanas**

Las ventanas ayudan a disminuir la fatiga visual, el marco de las ventanas debe ser de material difícilmente combustible para impedir la propagación de un posible incendio la altura del antepecho no debe ser inferior a 1 m. En laboratorios con riesgo de explosión, deben acoplarse ventanas que cedan ante los efectos de una sobrepresión.

#### **6.1.8.1.1.7 Materiales y acabados**

Se debe tener cuidado con elementos como cortinas debido a su facilidad para inflamarse al estar abundantemente aireadas. Si es necesario colocarlas en un local con riesgo de incendio, deberán ser de un material incombustible, como, por ejemplo, la fibra de vidrio. El material a emplearse en mesas de trabajo, debe procurarse combinar su resistencia mecánica a los agentes químicos con la facilidad de lavado y descontaminación, así como con los aspectos estéticos y de comodidad.

#### **6.1.8.1.1.8 Color del techo, paredes, suelo y mobiliario**

Las combinaciones generalmente bien aceptadas son:

Techo: blanco.

Paredes: Verde pálido, rosa pálido o azul pálido.

Suelo: Verde pálido, tabaco claro o gris.

Muebles: Gris verdoso, castaño o gris.

#### **6.1.8.1.1.9 Ventilación**

El sistema de ventilación debe ser en dirección hacia fuera solamente. De acuerdo al tamaño del laboratorio, se contará con la cantidad de salidas de aire necesarias para la adecuada climatización.

#### **6.1.8.1.1.10 Iluminación**

El nivel de iluminación del laboratorio debe adaptarse a las exigencias visuales de los trabajos que se realicen en él. Siempre que sea posible se recomienda disponer de iluminación natural complementada con iluminación artificial para garantizar las condiciones de visibilidad adecuadas durante la jornada laboral.

## **6.1.8.2 Normas de seguridad de laboratorio**

### **6.1.8.2.1 Introducción**

Las normas de seguridad sirven para evitar accidentes debido a desconocimiento de lo que se está haciendo, o a una posible negligencia de las personas que se encuentran realizando una determinada actividad.

### **6.1.8.2.2 Normas personales**

Son normas que se dan al estudiante para que utilice con responsabilidad la zona de trabajo y los materiales que se le entregan. Por lo que se recomienda la utilización de batas, para personas que tengan el cabello largo se lo deben recoger y esta terminantemente prohibido fumar.

### **6.1.8.2.3 Normas utilización de productos químicos**

Al realizar un trabajo con productos químicos siempre hay que tener en cuenta las respectivas precauciones como utilizar guantes, lentes y se debe asegurar de utilizar las cantidades necesarias, no se debe tocar con las manos y menos con la boca, los productos químicos y al preparar cualquier disolución se colocará en un frasco limpio y rotulado convenientemente.



### **6.1.8.3 Laboratorio de metalografía de la Escuela Politécnica Nacional**

#### **6.1.8.3.1 Descripción.**

El Laboratorio está dividido en dos aulas:

La primera posee 10 metros. De largo por 8 metros de ancho y 3 metros de alto. Con una capacidad aproximada para 15 alumnos. instalaciones y equipos metalograficos como son un horno, kit para ataque químico, dos grifos de agua, seis equipos para pulir probetas, diez mesas desbastadoras, una cortadora de probetas metalográficas, dos prensas manuales, un microscopio y tres mecheros bunsen.

La segunda aula de 3 x 2 metros está un microscopio metalográfico, un durómetro y una vitrina donde se almacenan algunas probetas ya montadas.

### **6.1.9 ESTUDIO ECONOMICO**

## **6.1.10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1.10.1 CONCLUSIONES**

➤ Es de gran importancia distinguir y conocer los tipos de propiedades que tienen los materiales por que el estudio de los mismos se basa en las propiedades que estos presentan.

➤ La primera práctica no presenta ningún inconveniente debido a que los materiales y equipos son fáciles de conseguir.

➤ La preparación de pulido de probetas metalográficas tiene un procedimiento establecido para llegar a resultados esperados no se debe nunca evitar algún paso.

➤ El reactivo de ataque químico se selecciona en base al metal por un determinado tiempo.

➤ La temperatura para los tratamientos térmicos depende del porcentaje de carbono que contiene el acero.

➤ El análisis micrográfico para los diferentes tratamientos térmicos realizados a muestras de aceros hipoeutectoides muestra la transformación de austenita a ferrita, perlita, martensita y martensita revenida.

### **6.1.10.2 RECOMENDACIONES**

- Para la correcta preparación metalográfica los equipos de desbaste y pulido no deben ser utilizados por mas de dos personas a la vez.
  
- Si la probeta resulta sobreatacada se debe repetir el proceso de desbaste desde el último papel se vuelve a pulir y una vez más a atacar acortando el tiempo de proceso. Y si resulta subatacada se continúa el ataque por más tiempo.
  
- Cuando mezcle reactivos se debe tener extremas precauciones, después de prepararlos se los coloca en envases debidamente identificados.
  
- El microscopio óptico debe ser usado bajo la supervisión del instructor.

## **6.2 GUÍA DE PRÁCTICAS PARA LABORATORIO BÁSICO DE METALOGRAFÍA**

### **PRÁCTICA I**

#### **6.2.1. Materiales**

##### **6.2.1.1 Objetivos**

- Enseñar al estudiante procedimientos para el manejo de materiales.
- Al terminar la práctica los estudiantes estarán en capacidad de identificar los tipos de propiedades que pertenecen diferentes materiales sometidos a acciones externas.

##### **6.2.1.2 Marco teórico**

###### **6.2.1.2.1 Materiales**

El estudio de los materiales se basa en las propiedades que estos presentan. Estas propiedades se pueden dividir según el punto de vista de Ingeniería Mecánica como:



### **6.2.1.3 Materiales y Equipos**

#### **6.2.1.3.1 Materiales**

2 Muestras de vidrio, 2 de caucho, 2 de acrílico, 3 de aluminio, 1 de plomo, 3 de madera, 3 de PVC, 3 de cualquier acero, 2 de acero bajo en carbono, 1 acero inoxidable, 1 de bronce, 3 de cobre y 1 de latón.

#### **6.2.1.3.2 Herramientas y equipos**

Martillo, rayador, multímetro, imán, calibrador, regla graduada, entenalla, tenaza, mechero Bunsen.

### **6.2.1.4 Procedimiento de la práctica**

A continuación se presenta las prácticas y las propiedades de los materiales para cada una de ellas.

#### **6.2.1.4.1 Dureza**

Utilizar muestras de aluminio, latón, acero, plomo, P.V.C, cobre. Con un rayador se ejerce una determinada presión a cada material y se observa.

#### **6.2.1.4.2 Conductividad Eléctrica**

Conectar a un multímetro muestras de acero de bajo carbono, acero inoxidable y aluminio para diferenciar la conductividad térmica de cada uno de estos.

#### **6.2.1.4.3 Magnetismo**

Probar con un imán en diferentes materiales.

#### **6.2.1.4.4 Choque Térmico**

Introducir muestras de acero y vidrio en un horno y luego se las sumerge en agua (temperatura ambiente).

#### **6.2.1.4.5 Fusibilidad**

Utilizar probetas de caucho semivulcanizado, madera, acrílico baquelita, P.V.C., de dimensiones y formas iguales a las cuales se las coloca en una placa metálica y se las somete al fuego.

#### **6.2.1.4.6 Conductividad térmica**

Someter al fuego de un mechero Bunsen alambres de acero (bajo carbono), aluminio, bronce y cobre de longitudes y diámetros iguales.

#### **6.2.1.4.7 Tenacidad**

Sujetar firmemente probetas de vidrio, latón, PVC, madera y acero., de forma y dimensiones iguales, se las golpea con un martillo a determinada fuerza una a la vez.

#### **6.2.1.4.8 Inflamabilidad**

Con la ayuda de tenazas se somete al fuego por un determinado tiempo probetas de madera, caucho vulcanizado y acrílico.

#### **6.2.1.5 Bibliografía**

- Jastrzebski, D; “Naturaleza y propiedades de los materiales para ingeniería.
- Flinn – Trojan; “Materiales de ingeniería y sus aplicaciones”.

#### **6.2.1.6 Informe**

- Tema.
- Objetivos.
- Marco teórico.



- Materiales y equipos.
- Procedimiento de la práctica.
- Análisis, tabulación e interpretación de datos.
- Conclusiones y recomendaciones.
- Bibliografía.

## **PRÁCTICA II**

### **6.2.2. Preparación de probetas metalográficas**

#### **6.2.2.1 Objetivos**

- Identificar y manipular los equipos que se emplean para la preparación metalográfica de probetas.
- Realizar la preparación de probetas metalográficas en secuencia cronológica de pulido para análisis de la misma.

#### **6.2.2.2 Marco teórico**

##### **6.2.2.2.1 Preparación de la muestra metalográfica**

###### **6.2.2.2.1.1 Toma de muestra**

La elección de la muestra que ha de ser examinada al microscopio es de una gran importancia, ya que ha de lograrse una probeta representativa del material a examinar.

Las probetas seleccionadas deben ser características del metal estudiado y servir para el fin a que se dirige tal estudio.

La muestra debe mantenerse fría durante la operación de cortado, para evitar transformaciones estructurales.

#### **6.2.2.2.1.2 Desbaste grueso**

Es una operación establecida para remover las rebabas y todas las ralladuras debidas al corte. Esto puede lograrse presionando uniformemente la probeta sobre una desbastadora de disco provista de lija número 60, 80,100 y 120 (granos por pulgada lineal) dependiendo de la necesidad. Durante esta operación debe mantenerse la probeta fría mediante el flujo de agua.

#### **6.2.2.2.1.3 Desbaste Fino**

El propósito de esta etapa es remover la zona deformada causada por los dos procesos anteriores.

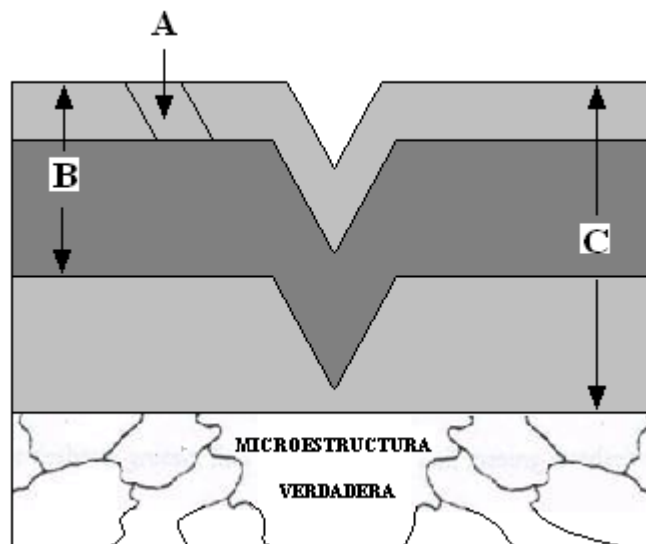
Esto se logra bajo una selección adecuada y secuencial de abrasivos (lijas números: 240-320-400-600 granos/pulg). Sin embargo, cuando una zona de deformación está siendo removida, se formará una nueva zona de menor deformación, no tan severa ni profunda como la inicial, ocasionada por la acción de los granos abrasivos utilizados en esta etapa. La muestra se desliza sobre las lijas en dirección opuesta al operador de manera que se formen rayas en una sola dirección, para eliminar éstas girar la probeta 90° y realizar la misma operación.

#### 6.2.2.2.1.4 Pulido grueso

Es una operación de desbaste leve, además es la etapa más importante y crítica de toda la operación de pulido. Se emplea la pulidora de paño utilizando como abrasivo alúmina de 1 micrón en suspensión en agua.

#### 6.2.2.2.1.5 Pulido Fino

Luego de concluido el pulido grueso, la superficie de la muestra se encuentra en condiciones semejantes a las que se indica en la figura 6.1, con la diferencia de que las deformaciones son mucho más pequeñas, las mismas que serán eliminadas luego de este proceso para posteriormente relevar la microestructura real que tiene la probeta, esta operación se ejecuta utilizando un abrasivo (alúmina de 0.3 micrón de tamaño promedio en suspensión en agua).



**Fig. 6.1.- Forma esquemática como se van eliminando las superficies**

**deformadas hasta llegar a la superficie real. A) Profundidad de deformación más leve.- Es una zona de corte en la superficie, que puede haberse deformado a elevadas temperaturas. B) Profundidad de deformación menor.- Es una capa que contiene deformaciones de bajo orden de magnitud, generadas durante el desbaste fino. C) Profundidad de deformación total.- Contiene deformaciones que pueden ser de alto grado de magnitud y que son restos de la capa deformada producida durante la abrasión preliminar.**

**Cuando la muestra es pequeña se debe realizar un montaje:**

#### **6.2.2.2.1.6 Montaje**

Las muestras pequeñas o de forma incomoda deben montarse de alguna manera para facilitar el pulido intermedio y final. Alambres varillas pequeñas, muestras de hoja metálicas, secciones delgadas, etc., deben montarse en un material adecuado o sujetarse rígidamente en una monta mecánica.

Los materiales plásticos sintéticos que se acoplan a la muestra en una prensa para montar especial proporcionan las bases de un tamaño uniforme conveniente (generalmente de 2, 5, 3 o 4 cm. de diámetro) para manipular las muestras. Estas bases, cuando se han hecho en forma adecuada, son muy resistentes a la acción de los reactivos de ataque que se emplean comúnmente. La resina termofijadora que más se emplea para montar muestras es la baquelita. Los polvos para moldear baquelita se fabrican los colores de este material, lo cual simplifica la identificación de las muestras montadas.

La muestra y la cantidad correcta de polvo de baquelita, o una preforma de baquelita, se colocan en un cilindro de la prensa de montar. La temperatura aumenta gradualmente hasta 150 °C y se aplica una presión de moldeo de una 4000 lbs/pulg<sup>2</sup> simultáneamente. Una vez que la baquelita está adherida y curada cuando se alcanza esta temperatura, la base con la muestra puede extraerse del dado de moldeo mientras está caliente.

La lucita es la resina termoplástica más común; es completamente transparente cuando se moldea en forma adecuada. Esta transparencia resulta útil cuando es necesario observar la sección exacta que se pule o por cualquier otra razón se desea ver por completo la muestra en la base. Al contrario de los plásticos termoformados, las resinas termoplásticas no sufren cura a la temperatura de moldeo, sino que adquieren estabilidad al enfriarse. La muestra y la calidad de polvo de lucita adecuadas se colocan en la prensa para montar y se someten a la misma temperatura y presión que para la baquelita (150 °C y 4000 lbs/pulg<sup>2</sup>). Una vez alcanzada esta temperatura, se quita la bobina de calentamiento y las aletas de enfriamiento se colocan alrededor del cilindro para enfriar la base hasta 75 °C en unos 7 minutos al tiempo que se mantiene la presión de moldeo. Si se saca la base todavía caliente o si se deja enfriar lentamente en el cilindro de moldeo la temperatura ambiente sin sacarla, se opacará.

Las muestras pequeñas pueden montarse en forma conveniente para prepararlas metalográficamente en un dispositivo de sujeción hecho en el laboratorio del I.T.S.A, las muestras laminares delgadas, cuando se montan en tal dispositivo de sujeción, suelen alterarse con hojas metálicas “rellenadoras” de metal que tienen aproximadamente la misma dureza de las muestras. Si se usan hojas rellenas, se

conservará la superficie libre de las irregularidades de la muestra y se evitará, de alguna manera, que los bordes se redondeen durante el pulido.

#### **6.2.2.2.1.7 Pulido intermedio**

Por lo general las operaciones de pulido intermedio con lijas de esmeril se hacen en seco; sin embargo en ciertos casos, como el de preparación de materiales suaves, se puede usar un abrasivo de carburo de silicio. Comparado con el papel esmeril, el carburo de silicio tiene mayor rapidez de remoción y, como su acabado es a base de resina, se puede utilizar con un lubricante, el cual impide el sobrecalentamiento de la muestra, minimiza el daño cuando los metales son blandos y también proporciona una acción de enjuague para limpiar los productos removidos de la superficie de la muestra, de modo que el papel no se ensucie.

#### **6.2.2.3 Materiales y Equipos**

##### **6.2.2.3.1 Materiales**

- Probetas de acero (bajo, medio o alto carbono), cobre, aluminio o zinc.
- Guantes.
- Agua y alcohol industrial.

### **6.2.2.3.2 Equipos y herramientas**

- Equipo de desbaste grueso, fino y de pulido.
- Para el caso de muestras pequeñas es necesario el equipo de termoconformado.
- Secador.
- Microscopio óptico.

### **6.2.2.4 Procedimiento de la práctica**

1. Extraer una muestra del material mediante corte cuya altura mínima sea de 12 mm y su dimensión en una de las direcciones de la superficie a pulir de 20 a 25 mm.

2. Realice el montaje de su muestra de ser necesario. Para el manejo del equipo de termoconformado siga al pie de la letra las instrucciones del instructor, ya que este equipo opera a temperaturas considerables y elevadas presiones. Procure utilizar guantes de protección térmica para manipular las partes calientes del equipo. Una vez más, sea muy cuidadoso y evite accidentes.

3. Desbaste grosero.- realizar el desbaste asentando la muestra uniformemente hasta conseguir un solo plano en la probeta.

4. Desbaste fino.- deslizar la muestra sobre las lijas de 240-320-400 y 600 granos por pulgada en un solo sentido para formar rayas en una sola dirección. Al pasar a la siguiente lija girar 90° la probeta para eliminar las rayaduras anteriores.



5. Al finalizar, lave muy bien la probeta, con abundante agua y sus manos con agua y jabón. Limpie con un paño la mesa de lijas, asegúrese de no dejar charcos de agua luego de finalizado su trabajo.

6. Pulido.- lave muy bien con abundante agua el paño que va a utilizar, para evitar la presencia de restos de metal o abrasivos que puedan estropear su proceso de pulido.

Verter el abrasivo (alúmina) sobre el paño del plato giratorio y gradúe el grifo hasta tener un goteo de agua constante.

Coloque la muestra sosteniéndola firmemente sobre el disco rotatorio ejerciendo una presión moderada, para asegurar un pulido parejo y evitar que la probeta sea proyectada por el movimiento del disco.

La probeta debe moverse suavemente desde la periferia hacia el centro del paño y viceversa. También puede girarse en sentido contrario al movimiento del disco. La técnica y destreza para efectuar el pulido dependerá en gran parte de la muestra en estudio.

Pida la opinión de su instructor Una vez que su muestra haya alcanzado una superficie plana tipo espejo, lávela con abundante agua, rocíela con alcohol y séquela con aire caliente o comprimido, evitando la presencia de rastro alguno de humedad que pueda crear confusión al momento del análisis microscópico.

Una vez más colabore con el mantenimiento del laboratorio y limpie, con un trapo, todo resto de agua y de suspensión abrasiva que su trabajo haya podido dejar.

#### **6.2.2.5 Bibliografía**

- Dubox, Eduardo J – “Prácticas de Metalografía”
- Avner, Sydney – “Introducción a la Metalurgia Física”
- Kehl, George – “Fundamentos de la Práctica Metalográfica”
- Higgins, R. “Ingeniería metalúrgica”. Tomo I. Editorial C.E.C.S.A. 1978. Cap. 10.

#### **6.2.2.6 Informe**

- Tema.
- Objetivos.
- Marco teórico.
- Materiales y equipos.
- Procedimiento de la práctica.
- Análisis, tabulación e interpretación de datos.
- Conclusiones y recomendaciones.
- Bibliografía.

## **PRÁCTICA III**

### **6.2.3. Ataque químico**

#### **6.2.3.1 Objetivos**

- Enseñar al estudiante la técnica para el ataque químico de probetas metalográficas.

#### **6.2.3.2 Marco teórico**

##### **6.2.3.2.1 Ataque Químico**

El propósito del ataque químico es hacer visible al microscopio metalográfico las características estructurales del metal o aleación, mediante la aplicación de un reactivo apropiado sobre la superficie de la probeta, que somete a ésta a una acción química selectiva reaccionando exclusivamente con uno de los elementos químicos presentes en el material.

La selección del reactivo de ataque se la realiza en base al tipo o clase de metal y por la estructura específica que se desea observar.

Las operaciones de ataque más comunes son:

- Por inmersión de la probeta en el reactivo.

- Mediante algodón empapado con reactivo, el cual se frota sobre la superficie pulida con la ayuda de una pinza.

#### **6.2.3.2.2 Manejo de reactivos**

En las prácticas de laboratorio se hace necesario el uso de reactivos químicos para el ataque de muestras metalográficas. Estos agentes químicos son por lo general compuestos de ácidos orgánicos, álcalis de varias clases u otras sustancias complejas en solución con algunos solventes apropiados tales como agua, alcohol, etc. Todos los reactivos a utilizar son potencialmente peligrosos, lo que supone ciertos procedimientos para su manejo y mezclado. A continuación se citan algunas medidas preventivas:

- Es OBLIGATORIO el uso de batas. Sí no trae su bata de laboratorio, no podrá asistir a las practicas.
- Utilice guantes de goma.
- Para prevenir exposiciones o inhalaciones de gases tóxicos, la mezcla, manejo y uso de los reactivos tiene que hacerse exclusivamente en la campana de gases.
- Sí por alguna razón tiene contacto sobre la piel con el reactivo, lávese inmediatamente con agua y jabón. Informe al encargado del laboratorio para alguna otra indicación.

- Tenga especial cuidado cuando trabaje con ácido fluorhídrico (HF), ya que puede formar ulceraciones al contacto con la piel. Además, cuando trabaje con HF no utilice recipientes de vidrio, debido a que es disuelto por el ácido. También son muy dañinos el  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y  $\text{AlCr}_3$  ya que la inhalación de sus vapores puede causar irritación o daños serios en el sistema respiratorio.

- Cuando mezcle los reactivos, extreme las precauciones. Siempre adicione lentamente el ácido, o el álcali al agua, alcohol o solución. Agite de forma continua para evitar el sobrecalentamiento local. Una mezcla incompleta puede originar reacciones violentas.

- Después de preparar el reactivo colóquelo en un envase debidamente identificado. Cuando termine de manipular los reactivos, limpie todos los envases que utilizó y deje todo en orden.

- Si existe alguna duda acerca del manejo de los reactivos, es preferible pedir asistencia al encargado del laboratorio y así evitar situaciones lamentables.

### **6.2.3.3 Materiales y Equipos**

#### **6.2.3.3.1 Materiales**

- Probeta metálica pulida (cualquiera que se haya escogido en la práctica anterior).
- Guantes de Látex.
- Reactivos químicos.

- Alcohol.
- Algodón y recipiente para guardar las probetas.

#### **6.2.3.3.2 Equipos y herramientas**

- Pinzas para sujetar las probetas
- Microscopio óptico

#### **6.2.3.4 Procedimiento de la práctica**

##### **6.2.3.4.1 Primero**

La probeta debe lavarse de cualquier compuesto pulidor adherente. Este último se puede frotar de los lados con los dedos, pero debe tenerse cuidado al tocar la cara pulida. La mejor manera de limpiarla es untando suavemente la superficie con una solución de jabón sin abrasivo, empleando la yema del dedo y limpiando bajo el grifo de agua. Aún ahora, la probeta puede estar ligeramente grasosa y la película final de grasa se elimina mejor, sumergiendo la probeta en alcohol hirviente (alcohol metílico industrial "blanco") por unos dos minutos. El alcohol no debe calentarse sobre flama directa sino preferiblemente por medio de un baño de agua calentado eléctricamente. De este punto en adelante, la probeta no debe ser tocada por los dedos sino que debe manejarse con tenazas de níquel. Se retira del alcohol, enfriándola en agua corriente antes de atacarla.

#### **6.2.3.4.2 Para probetas montadas en materiales termoplásticos**

Puede encontrarse que la montura se disuelve en el alcohol caliente. En estos casos, puede encontrarse que es efectivo el frotar con una pieza de algodón, embebido en solución de sosa cáustica, para el desengrasado.

#### **6.2.3.4.3 Una vez completamente limpia**

Se lava sumergiéndola en el reactivo de ataque como indica la tabla.

Tabla 6.1 Reactivos de ataque para aceros de bajo, medio y alto carbono, aleaciones de aluminio, cobre, zinc.

Tipo de material	Composición	Tiempo de ataque
Aceros de medio, alto carbono y fundición.	Nital 2 2 ml $\text{NH}_4\text{OH}$ 96 ml alcohol etílico	5 - 40 segundos.
Aceros bajo en carbono	Nital 4 4 ml $\text{NH}_4\text{OH}$ 96 ml alcohol etílico	5 - 40 segundos.
Aceros inoxidables	2 g. $\text{CuCl}_2$ 40 ml HCl 60 ml de etanol (95%)	Entre segundos a minutos.
Aceros templados	Picral 10 gr ácido pícrico 100 ml metanol (95-99%)	Hasta 1 minuto.
Aleaciones de aluminio	Reactivo de Keller 2 ml HF 3 ml HCl 5 ml $\text{HNO}_3$ 190 ml agua destilada	10 - 20 segundos.
Aleaciones de cobre	6.75 gr $\text{FeCl}_3$ 20 ml HCl 90 ml agua destilada	De segundos a minutos, variable.
Aleaciones de Zinc	Parte A 10 gr $\text{CrO}_3$ 1 gr $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 200 ml agua destilada  Parte B 40 gr. $\text{CrO}_3$ 200 ml agua destilada	Introducir en la solución A de 2 - 5 seg. Luego lave con solución B.
Aleaciones de níquel-cobre	80 ml HCl 20 $\text{NH}_4\text{OH}$ 100 ml de agua destilada	5 - 30 segundos.
Reactivo universal	100 ml agua destilada 5 ml HF ácido molibdico hasta saturación.	5 - 30 segundos.



#### **6.2.3.4.4 Luego de ser atacada la probeta**

Se agita vigorosamente durante varios segundos. La probeta se transfiere entonces rápidamente a agua corriente, para lavar el reactivo, examinando luego para ver la profundidad con que se ha producido el ataque. Esta inspección se lleva a cabo con la simple vista. Si el ataque se ha llevado a cabo, la superficie aparecerá ligeramente opaca y, en materiales vaciados, pueden verse a veces los cristales individuales con ayuda del microscopio. Si la superficie es aún brillante, puede ser necesario un ataque más prolongado. El tiempo requerido para diversos ataques, varía con las diferentes aleaciones y reactivos. Algunas aleaciones pueden atacarse suficientemente en unos cuantos segundos, mientras que algunos aceros inoxidable, que son resistentes al ataque de la mayor parte de los reactivos, requieren hasta 30 minutos.

#### **6.2.3.4.5 Después de ser atacada la probeta**

Se lava en agua corriente y luego se seca por inmersión, durante un minuto, aproximadamente en alcohol hirviente; si se retira el alcohol y se agita, con un movimiento de muñeca para eliminar el sobrante, secará casi instantáneamente.

#### **6.2.3.4.6 En el caso de probetas montadas cuyos montajes son afectados por el alcohol hirviente**

Es preferible colocar unas cuantas gotas de alcohol sobre la superficie de la probeta. El sobrante se tira y la probeta se mantiene en una corriente de aire caliente,

por ejemplo, de un secador de pelo. La probeta debe secarse uniforme rápidamente, para evitar que se manche.

#### **6.2.3.4.7 Y último paso**

Observe la muestra al microscopio y si ésta resulta sobreatacada, repita el proceso de desbaste fino (lijado) desde el último papel (grano más fino) y vuelva a pulir en los paños su muestra. Vuelva a atacar acortando el tiempo del proceso. Si la pieza resulta subatacada, sólo tiene que continuar el ataque por más tiempo.

La muestra a ser analizada en el microscopio será bajo supervisión del instructor.

#### **6.2.3.5 Bibliografía**

- Raymond A. Higgins – “Ingeniería Metalúrgica”
- Kehl, George – “fundamentos de la Práctica Metalográfica”
- Avner, Sydney – “Introducción a la Metalurgia Física”

#### **6.2.3.6 Informe**

- Tema.
- Objetivos
- Marco teórico
- Materiales y equipos.
- Procedimiento de la práctica
- Análisis, tabulación e interpretación de datos

- Conclusiones y recomendaciones
- Bibliografía.

## **PRÁCTICA IV**

### **6.2.4 Tratamientos térmicos para una muestra de acero (normalizado, recocido y templado)**

#### **6.2.4.1 Objetivos**

- Analizar con el microscopio las diferentes microestructuras obtenidas tras distintos tratamientos térmicos y con diferentes tipos de enfriamientos (normalizado, recocido, templado y revenido).

#### **6.2.4.2 Marco Teórico**

##### **6.2.4.2.1 Tipos de enfriamiento**

El tratamiento térmico es una operación o combinación de operaciones que comprenden el calentamiento o enfriamiento del metal, con el fin de mejorar algunas propiedades, en relación con la condición original del material. Los propósitos generales del tratamiento térmico son la eliminación de tensiones internas, homogeneización de las estructuras de moldeo, afinado de grano y cambio de estructura.

Todos los procesos básicos de tratamiento térmico del acero incluyen la transformación o descomposición de la austenita. Para realizar el tratamiento térmico tenemos que calentar la muestra de acero hasta una temperatura por encima de la temperatura crítica superior para formar austenita. Normalmente la velocidad de

enfriamiento en un mismo tratamiento no influye demasiado en las propiedades finales del acero, siempre que se haga razonablemente lento.

#### **6.2.4.2.2 Principales tratamientos térmicos que se aplican a una muestra de acero**

Los principales tratamientos térmicos son:

- Recocido (total, de esforoidización, para eliminación de esfuerzos, de proceso).
  
- Normalización.
  
- Templado y.
  
- Revenido.

##### **6.2.4.2.2.1 Recocido**

Consiste en calentar y mantener a una temperatura adecuada y luego enfriar lentamente para reducir la dureza, mejorar la maquinabilidad, facilitar el trabajo en frío.

#### **6.2.4.2.2.1.1 Recocido total**

Este proceso consiste en el calentamiento del acero a la temperatura adecuada durante un tiempo y luego enfriar muy lentamente en el interior del horno o en algún material aislante del calor.

El propósito general del recocido es refinar el grano, proporcionar suavidad, mejorar las propiedades eléctricas y magnéticas y, en algunos casos, mejorar el maquinado.

#### **6.2.4.2.2.1.2 Recocido de esferoidización**

Es un proceso por el cual se mejora la maquinabilidad. El método que suele emplearse es el mantenimiento durante un tiempo prolongado a una temperatura ligeramente inferior a la línea crítica inferior. Este tipo de proceso se emplea para obtener una mínima dureza, una máxima ductilidad o una máxima maquinabilidad en aceros al alto carbono. Los aceros al bajo carbono (como lo son nuestras muestras) rara vez esferoidizan por maquinado, porque en la condición de esferoidizados son excesivamente suaves.

#### **6.2.4.2.2.1.3 Recocido para la eliminación de esfuerzos**

Este proceso se utiliza para eliminar esfuerzos residuales debidos a un fuerte maquinado u otros procesos de trabajo en frío. Este recocido, también denominado subcrítico, se lleva a cabo a temperaturas por debajo de la línea crítica inferior  $A_3$ .

#### **6.2.4.2.2.1.4 Recocido de proceso**

Es un proceso muy parecido al recocido para eliminar esfuerzos, ya que se calienta el acero a una temperatura por debajo de la línea crítica inferior. La utilización de este tipo de tratamiento se orienta hacia las industrias de láminas y cable. Si se aplica después del proceso en frío se suaviza el acero por medio de la recristalización, para un posterior trabajo.

#### **6.2.4.2.2.2 Normalizado**

El tratamiento térmico de normalización del acero se lleva a cabo al calentar aproximadamente a 20°C por encima de la línea de temperatura crítica superior seguida de un enfriamiento al aire hasta la temperatura ambiente. El propósito de la normalización es producir un acero más duro y más fuerte que con el recocido total, de manera que para algunas aplicaciones éste sea el tratamiento térmico final. Sin embargo, la normalización puede utilizarse para mejorar la maquinabilidad, modificar y refinar las estructuras dendríticas de piezas de fundición, refinar el grano y homogeneizar la microestructura para mejorar la respuesta en las operaciones de endurecimiento.

El hecho de enfriar más rápidamente el acero hace que la transformación de la austenita y la microestructura resultante se vean alteradas, ya que como el enfriamiento no se produce en condiciones de equilibrio, el diagrama hierro-carburo de hierro no es aplicable para predecir las proporciones de ferrita y perlita proeutectoide que existirán a temperatura ambiente. Ahora, se tendrá menos tiempo para la formación de la ferrita proeutectoide, en consecuencia, habrá menos cantidad de esta en comparación con los

aceros recocidos. Aparte de influir en la cantidad de constituyente proeutectoide que se formará, la mayor rapidez de enfriamiento en la normalización también afectará a la temperatura de transformación de austenita y en la fineza de la perlita. El hecho de que la perlita (que es una mezcla eutectoide de ferrita y cementita) se haga más fina implica que las placas de cementita están más próximas entre sí, lo que tiende a endurecer la ferrita, de modo que esta no cederá tan fácilmente, aumentando así la dureza. El enfriamiento fuera del equilibrio también cambia el punto eutectoide hacia una proporción de carbono más baja en los aceros hipoeutectoides y más alta en los aceros hipereutectoides. El efecto neto de la normalización es que produce una estructura de perlita más fina y más abundante que la obtenida por el recocido, resultando un acero más duro y más fuerte.

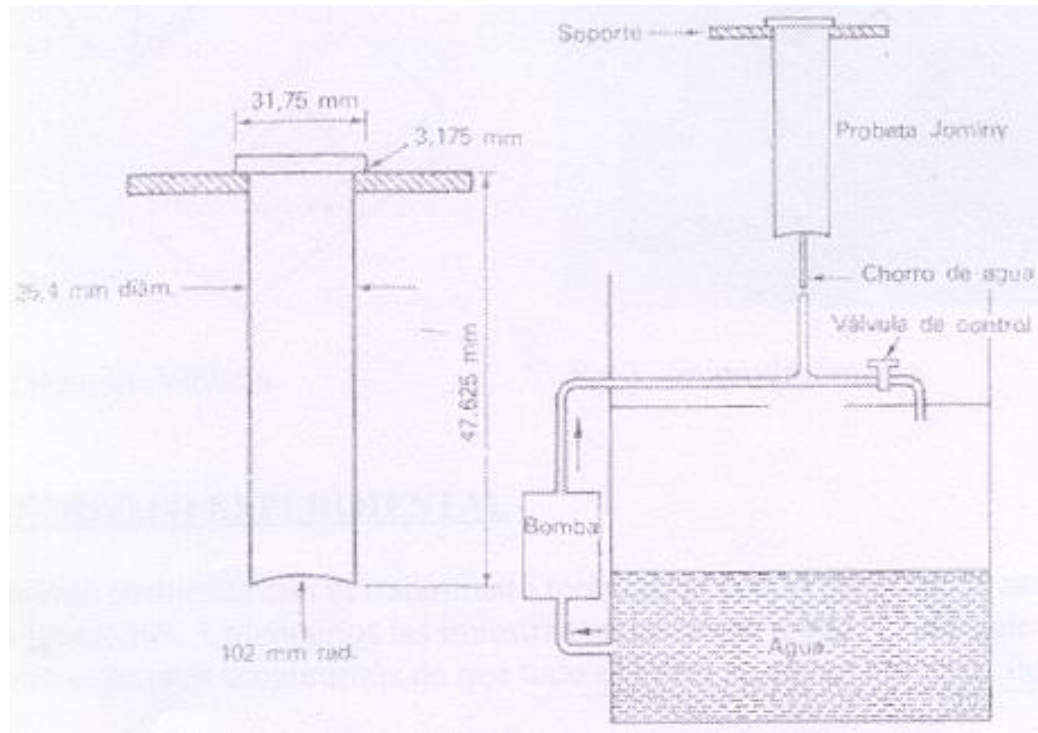
#### **6.2.4.2.2.3 Templado**

La técnica de templado consiste en calentar el acero hasta que se alcance la temperatura crítica austenita+ ferrita austenita al igual que en el recocido y normalizado, seguido de un enfriamiento lo suficientemente rápido con el fin de endurecer la muestra considerablemente.

Para la realización del templado emplearemos el método de Jominy (ver fig.6.2), consistente en hacer incidir una corriente de agua primero y salmuera posteriormente, sobre un extremo del tornillo. Enfriados de esta manera conseguiremos que la velocidad de enfriamiento sea muy rápida obteniendo la mayor proporción de fase martensita posible evitando que esta se transforme a medida que disminuye la temperatura. Este procedimiento es el que mayor dureza confiere a los tonillos. En particular, los



enfriados con salmuera resultarán de mayor dureza que los enfriados con agua, y la punta del tornillo donde la velocidad de enfriamiento es mayor acumulará la mayor cantidad de martensita.

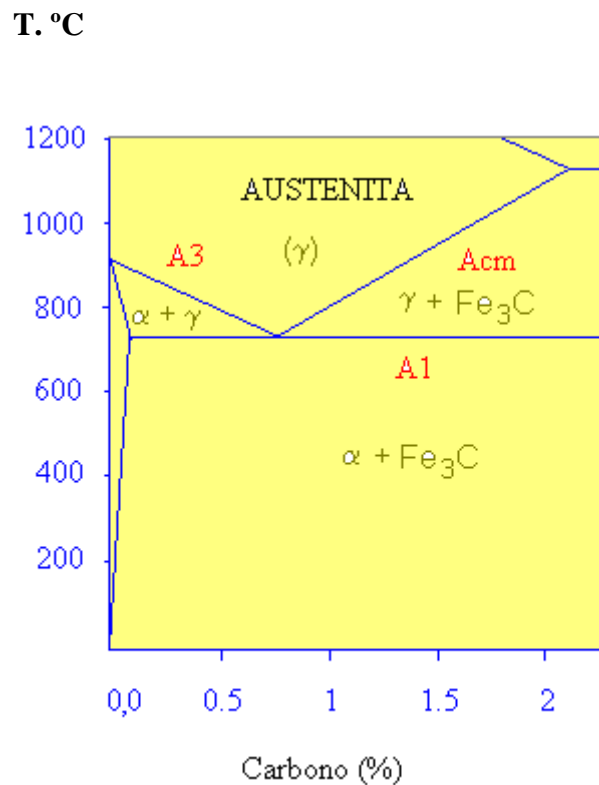


**Fig. 6.2 Equipo de Jominy**

#### **6.2.4.2.2.4 Revenido**

Consiste en calentar el acero templado por debajo de la temperatura eutectoide para disminuir la fragilidad y dureza y aumentar la tenacidad del mismo.

#### 6.2.4.2.2.5 Temperatura Vs. Fe – C



**Fig. 6.3 Diagrama temperatura Vs. Fe – C**

El diagrama Fe – C muestra hasta 2.11% de carbono, lo cual corresponde a los aceros. La austenita es una fase la cual puede dar origen a diversas estructuras, dependiendo el tratamiento térmico aplicado, por lo que las líneas que indican el inicio o el fin de su transformación son de mucha importancia. La línea crítica inferior A1, corresponde a la temperatura en la cual, durante el enfriamiento, la austenita se transforma en perlita. La línea crítica superior A3 señala el inicio de cambio de estructura de austenita a ferrita. La línea crítica superior Acm indica la solubilidad máxima del carbono en la austenita y su precipitado en forma de cementita.

La temperatura que se requiere alcanzar para realizar el tratamiento térmico depende del tratamiento y la cantidad de carbono que el acero presenta.

**Tabla 2.2 Temperaturas recomendadas para diferentes tratamientos térmicos.**

Aceros	% Especifico	Temperatura Recomendada		
		Recocido	Normalizado	Temple
Hipoeutectoides 0,02 - 0,77%	0,40%	859 °C	859 °C	859 °C
Eutectoides 0,77%	0,77%	752 °C	758,7 °C	752 °C
Hipereutectoides 0,77 - 2,11%	1,50%	752 °C	985 °C	752 °C

La temperatura recomendada para el revenido depende de las propiedades deseadas, pero siempre por debajo a la crítica inferior, A1. (-750 °C).

### 6.2.4.3 Materiales y Equipos

#### 6.2.4.3.1 Materiales

- 4 tornillos de acero hipoeutectoide, dos de longitud 50 mm y dos de 17 mm

#### 6.2.4.3.2 Equipos y herramientas

- Horno cerámico. Instrumento para la realización de templados con salmuera y agua. (equipo de Jominy).
- Lijadora y pulidora
- Productos químicos para hacer el ataque a las muestras.
- Microscopio óptico.

#### **6.2.4.4 Procedimiento de la práctica**

Se va a trabajar con 4 tornillos de acero hipoeutectoide (0.20% de C en peso), dos de longitud 50 mm y dos de 17 mm que se entregarán al comienzo de la práctica. Podemos dividir el experimento en dos partes; una primera donde se realiza el recocido y el normalizado a los cuatro tornillos y una segunda donde se realizarán los templados en agua fría y agua en salmuera y posteriormente a esto el revenido.

##### **6.2.4.4.1 Recocido y normalizado**

Se programa el horno a 907°C, alcanzada la temperatura se introducen los tornillos, manteniéndose al menos 45 minutos a esa temperatura para que todos adquieran la fase austenita homogénea.

##### **6.2.4.4.2 Enfriamiento.**

Transcurrido el tiempo previsto se apaga el horno, se sacan del horno un tornillo largo y otro corto (usar guantes y pinzas de horno largas) y se colocan encima de una cerámica refractaria hasta que se encuentren a temperatura ambiente (normalizado). Los otros dos tornillos se dejan en el horno para que se enfríen más lentamente (recocido).

#### **6.2.4.4.3 Templado de Jominy**

Se introducen otros tornillos en el horno a 907°C y transcurrido al menos 45 minutos se saca primero un tornillo largo y se introduce en el aparato preparado para la realización de los templados (Jominy). Se le hace incidir un chorro de agua fría sobre la punta hasta que la temperatura del tornillo sea la ambiente (comprobar previamente que el chorro de agua tiene suficiente presión para incidir sobre la punta del tornillo). Después de templar el tornillo largo, se pasará al templado del corto. Posteriormente se cambiará a la disolución de agua por salmuera para templar con sal los tornillos que queden en el horno. No se apagará el horno hasta que no se saque el último tornillo.

#### **6.2.4.4.4 Revenido**

Con cualquier tornillo ya templado se lo vuelve a meter en el horno a 907 °C y transcurrido al menos 45 minutos se saca. La temperatura para el revenido depende de la dureza y tenacidad que se desee obtener, mientras mayor sea la temperatura mayor será la tenacidad y menor la dureza.

#### **6.2.4.4.5 Lijado y pulido.**

Cuando los tornillos están fríos, se lijan con una pulidora (los tornillos largos se lijan con la pulidora manual) comenzando con las lijas más abrasivas y pasando a las de grano más fino posteriormente. Cuando se cambia de una lija a otra, hay que lijar girando la muestra 90°. Terminado el proceso se pasa al pulido en una pulidora circular

que consiste en pasar la muestra sobre un paño impregnado con alúmina. Se considera que el lijado y pulido está finalizado cuando en el microscopio no se observan surcos y la muestra refleja. Todo este proceso en los tornillos cortos se realiza teniéndolos introducidos en un molde de cera previamente construido en una prensadora (Equipo de termoconformado) y se lijan siguiendo los mismos pasos descritos anteriormente.

#### **6.2.4.4.6 Ataque químico.**

Si se observa al microscopio la muestra pulida no se ve la microestructura, por lo que es necesario un ataque químico selectivo. Como indica la tabla 6.1. Cuando ésta es observada, mirar a lo largo del tornillo para ver las fases que aparecen y los cambios que se observan en las diferentes distancias relativas a la cabeza del tornillo.

Microconstituyentes que se espera obtener de los tratamientos térmicos realizados a las probetas de acero hipoeutectoides:

- Recocido: Ferrita y perlita.
- Normalizado: Ferrita y perlita.
- Temple: Martensita.
- Revenido: Martensita revenida.

#### **6.2.4.5 Bibliografía**

- W.F. Smith "Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales" .MacGraw Hill, (1998).

- J.P. Mercier, G. Zambelli, W. Kurtz "Introduction á la Science des Matériaux", Presses Polytechnique et Universitaires Romandes Laussane (1999).

- J.F. Shackelford "Introduction to Materials Science", 5 th Edition, Prentice Hall, (2000).

Asimismo, pueden resultar de interés las siguientes direcciones relacionadas con el tema:

- <http://www.utp.edu.co/%7Epublio17/aceros.htm>
- <http://www.inoxidable.com/dureza.htm>
- <http://web.uniovi.es/QFAnalitica/trans/AnIndustrial/tema 7.ppt>

#### **6.2.4.6 Informe**

- Tema.
- Objetivos
- Marco teórico
- Materiales y equipos.
- Procedimiento de la práctica
- Análisis, tabulación e interpretación de datos
- Conclusiones y recomendaciones
- Bibliografía.

## BIBLIOGRAFÍA

- Rodríguez, Eduardo. 1949 Técnica química de laboratorio. Barcelona: G. Pili.
- Massero, Ferdinando. 1942 Manual práctico del tornero y fresador. Sexta edición
- Jastrzebski, D. 1979 Naturaleza y propiedades de los materiales para ingeniería.

Nueva editorial interamericana S.A. Mexico.

- Flinn, Trojan. 1989. Materiales de ingeniería y sus aplicaciones. Editorial Mc Graw – Hill, México.

- Dubox, Eduardo J. 1974. Prácticas de Metalografía. 1 Edición Medellín, Marimar.

- Avner, Sydney. 1966 Introducción a la Metalurgia Física. 1 Edición, Estados Unidos. Mc Graw – Hill

- Kehl, George. 1988. Fundamentos de la Práctica Metalográfica. 1 Edición España, Aguilar.

- Raymond A. Higgins. Ingeniería Metalúrgica. C.E.C.S.A. Tomo I – II.

- W.F. Smith. 1998. Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Mc Graw – Hill. Madrid.

- J.P. Mercier, G. Zambelli, W. Kurtz. 1987. Introduction á la Science des Matériaux. Lausanne: presses polytechniques romandes.

- J.F. Shackelford. 1992. Introduction to Materials Science. 3 Edition. Mac Millan Inc. USA.

- <http://www.utp.edu.co/%7Epublio17/aceros.htm>.

- <http://www.inoxidable.com/dureza.htm>.

- <http://web.uniovi.es/QFAnalitica/trans/AnIndustrial/tema 7.ppt>.



A

N

E

X

O

S