

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



**“DIAGNOSTICO DE LAS PROPIEDADES DE
LOS ACEROS POR MICROSCOPIA ÓPTICA”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO METALURGISTA**

ELABORADO POR:

GROBER LEONIDAS DELGADO POMA

ASESOR

M.Sc. Ing. ALBERTO LANDAURO ABANTO

**Lima – Perú
2016**

AGRADECIMIENTO

A Dios por la vida, a mis padres por su esmero en educarme, a mi Alma mater y catedráticos por darme sólidas bases en mi formación profesional y personal y a la empresa Aceros Arequipa por la oportunidad de aprendizaje y desarrollo profesional.

RESUMEN

Este trabajo consiste en elaborar una guía práctica de análisis metalográfico para aceros, para la observación en el microscopio óptico, en el laboratorio de ensaye de materiales (metalografía).

La metalografía consiste en el estudio de la constitución y la estructura de los metales y las aleaciones. La forma más sencilla de hacerlo es examinando las superficies metálicas a simple vista. Los estudios microscópicos producen resultados que son útiles no sólo a los científicos, sino también a los ingenieros metalúrgicos y personas dedicadas a la ciencia de los materiales. El examen de la microestructura es muy útil para determinar si un metal o una aleación satisfacen las especificaciones en relación con trabajos mecánicos anteriores, tratamientos térmicos y composición general. La microestructura es un instrumento para analizar las fallas mecánicas y para controlar procesos industriales y de manufactura.

Este trabajo describe los métodos para preparar muestras pequeñas de aceros, con el fin de hacer un examen metalográfico. Los cuatro pasos que se requieren para efectuar las diferentes tipos de prácticas son: 1) Corte transversal, 2) Montaje, 3) Esmerilado y pulido, y 4) Ataque químico.

Finalmente, todos estos conocimientos se amplían en la observación metalográfica, la cual se encuentra en los últimos capítulos, y tiene como objetivo principal ayudar al estudiante de ingeniería a comprender mejor la metalografía y entender la importancia que tiene esta última en el estudio de los materiales metálicos y aleaciones.

ABSTRACT

This work is to develop a practical guide of metallographic analysis for steel, for observation under the light microscope in the assay laboratory of materials (metallography).

Metallography is the study of the constitution and structure of metals and alloys. The easiest way is to examine the metal surfaces with the naked eye. Microscopic studies produce results that are useful not only to scientists but also to metallurgical engineers and the people engaged in materials science. Examination of the microstructure is very useful to determine if a metal or an alloy satisfy to the specifications in relation to previous machining, heat treatment and overall composition. The microstructure is a tool for analyzing mechanical failures and to control industrial and manufacturing processes.

This paper describes the methods for preparing small samples of steels, in order to make a metallographic examination. The four steps required to perform the different types of practices are: 1) Cross Section, 2) Installation 3) Grinding and polishing, and 4) Chemical attack.

Finally, all these skills are extended in the metallographic observation, which is in the later chapters, and its main objective is to help engineering students to better understand the metallography and understand the importance of the latter in the study of materials metal and alloys.

INDICE

INTRODUCCION	8
OBJETIVOS	9
CAPITULO I ASPECTOS GENERALES	
1.1 UBICACIÓN , ACCESO Y PRODUCCION	11
1.2 RESEÑA HISTORICA	13
CAPITULO II CONCEPTOS BASICOS	
2.1 COMPOSICION Y CLASIFICACION DE LOS ACEROS	16
2.1.1 Principales componentes de los aceros	20
2.1.2 Método de observación de muestras de aceros	23
2.2 METALOGRAFIA	24
2.3 FOTOMICROGRAFIA	26
2.4 EXAMEN METALOGRAFICO	26
2.5 EXAMEN MACROGRAFICO	28
2.6 EXAMEN MACROSCOPICO	28
2.7 EXAMEN MICROGRAFICO	29
2.8 EXAMEN DE LA MICROESTRUCTURA	29
2.9 EL MICROSCOPIO METALÚRGICO	29
2.10 TÉCNICAS MICROSCÓPICAS ESPECIALES	33
CAPITULO III PREPARACIÓN DE UNA MUESTRA METALOGRÁFICA DE ACEROS	
3.1 SELECCIÓN DE LA PROBETA METALOGRÁFICA DE ACERO.	36
3.1.1 Estudio general de trabajo de rutina	39
3.1.2. Estudio de fallas	40
3.1.3 Estudio de investigación y zonas de corte	40
3.2 TAMAÑO DE LA MUESTRA METALOGRÁFICA DE ACERO	42
3.3 CORTE	43

3.4	CORTE CON SIERRA	44
3.5	CORTE CON DISCO ABRASIVO	45
3.6	MONTAJE DE MUESTRA	47
3.7	DESBASTE	50
3.7.1	Desbaste grosero (burdo)	50
3.7.2	Desbaste intermedio	54
3.7.3.	Desbaste final	54
3.8	PULIDO	56
3.8.1.	Pulido fino	56
3.8.2	Pulido mecánico	57
3.8.3.	Pulido final	63
3.9	PULIDO ELECTROLÍTICO	64
3.9.1	Fundamentos y aparatos	64

CAPITULO IV ATAQUE QUÍMICO DE MUESTRAS DE ACERO Y USO METALOGRAFIA CUANTITATIVA

4.1	FUNDAMENTOS	66
4.2	FORMACIÓN DE METAL DISTORSIONADO	72
4.3	ELIMINACIÓN DE METAL DISTORSIONADO	73
4.4	REACTIVOS DE ATAQUE	74
4.5.	MECANISMO DE ATAQUE	77
4.5.1.	Aleaciones polifásicas	77
4.5.2.	Aleaciones monofásicas y metales puros:	78
4.5.3.	Diferencia de brillo entre los granos	78
4.6.	MÉTODOS DE ATAQUE	79
4.6.1.	Tiempo de ataque	80
4.7	ATAQUE ELECTROLÍTICO	81
4.8.	METALOGRAFIA CUANTITATIVA	81
4.8.1.	Métodos	83

CAPITULO V OBSERVACIÓN METALOGRÁFICA

5.1.	ANTECEDENTES	90
5.2.	MICROSCOPIOS METALÚRGICOS	90
5.3.	OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA	95

5.4	OBSERVACIÓN MICROSCÓPICA	96
-----	--------------------------	----

CAPÍTULO VI MICROESTRUCTURAS REPRESENTATIVAS DE ACEROS

6.1.	METODOLOGÍA	103
6.1.1	Microestructuras	104
6.2.	FASES HOMOGÉNEAS	106
6.3.	MICROESTRUCTURAS DEL DIAGRAMA HIERRO – CARBONO	107
6.4.	MICROESTRUCTURAS METAESTABLES DE LOS METALES FERROSOS	111
6.5.	INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE CARBONO EN LA MICROESTRUCTURA DE LOS ACEROS	112
6.6.	MICROESTRUCTURAS QUE SE OBTIENEN EN EL ACERO AISI-1045 AL TRATARLO TÉRMICAMENTE.	114
6.7.	TRATAMIENTO DE SOLUBILIZACIÓN Y ENVEJECIMIENTO	116
6.8.	TAMAÑO DE GRANO DEL ACERO	118
6.9.	INFLUENCIA DE LA DEFORMACIÓN	119
6.10.	MICROESTRUCTURAS TÍPICAS DE ALGUNOS ACEROS	120
6.11.	GRAFITOS EN LOS HIERROS	122
6.12.	MICROESTRUCTURAS DE LAS SOLDADURAS DEL ACERO	123
6.13.	MICROESTRUCTURAS Y DEFECTOS	126
	CONCLUSIONES	127
	BIBLIOGRAFIA	129
	ANEXOS	

INTRODUCCION

El método clásico de estudiar la estructura de las aleaciones ferrosas, es la microscopía óptica, a la que con frecuencia se aplica el nombre de "metalografía". En esta guía se muestran fotomicrografías obtenidas con ayuda de esta técnica y que son la base del estudio sistemático del comportamiento de los metales y aleaciones.

El microscopio es sin ninguna duda el instrumento más importante de que dispone el metalurgista, no solo desde el punto de vista científico de investigación en el laboratorio, sino también en la práctica industrial, donde puede prestar relevantes servicios.

En este trabajo se desarrollan los procesos y las técnicas para la obtención de la probeta metalográfica y para la observación de la superficie durante el desbaste, el procedimiento del pulido mecánico, pulido químico, ataque químico de una probeta y como se debe observar en el microscopio óptico.

Las técnicas metalográficas se han desarrollado precisamente para identificar las fases presentes en los metales y en sus aleaciones, y para explicar el mecanismo de su formación. Estas fases que constituyen el agregado metálico son, generalmente, de tamaño microscópico y, para su observación y estudio, es preciso preparar debidamente la probeta.

Una superficie metálica en la que se van a observar las fases microscópicas, ha de ser plana y estar pulida perfectamente, porque la pequeña profundidad de foco de los sistemas ópticos de observación a grandes aumentos, no permitiría enfocar la imagen simultáneamente en planos situados a distintos niveles; estar debidamente pulida para que sólo pueda aparecer en ella detalles propios de su estructura, y no circunstancias ajenas a ella que puedan observar.

OBJETIVOS

El objetivo de esta tesis, está orientada en dar a conocer que tan importante es la metalografía para la identificación de microestructuras de los materiales metálicos y aleaciones, y a familiarizarse con éstas técnicas de caracterización.

Brindar y dar a conocer los conceptos teóricos básicos sobre la preparación de muestras metalográficas, así como los diferentes tipos de microestructuras de los materiales, obtenidas en diversos procesos de fabricación, tratamientos térmicos y otros; para distinguir las propiedades mecánicas de los metales y aleaciones, ayudando con esto en la selección e inspección de materiales y a llevar un buen control de calidad, para un mejor diseño ingenieril.

- Conocer las técnicas y los procedimientos de ataque de una probeta metalográfica.
- Observar, mediante el microscopio óptico, las estructuras que se presentan en los aceros normales o tratados térmicamente, con soldadura, etc.; por medio de una probeta metalográfica.
- Conocer las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los materiales metálicos y sus aleaciones, así como también los principales tratamientos térmicos, para entender cómo estos afectan o cambian la estructura del material.

Efectuar el proceso de tomar una fotomicrografía, mediante una cámara fotográfica acoplada al ocular del microscopio.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 UBICACIÓN, ACCESO Y PRODUCCIÓN.

Planta Nº 1 Arequipa

Ubicada en el Parque Industrial de la ciudad de Arequipa, constituye un hito emblemático de este departamento como empresa pionera del desarrollo industrial de Arequipa.

Hoy en día, luego de una serie de inversiones, esta planta de laminación cuenta con una capacidad instalada de 250,000 toneladas métricas anuales de productos terminados, entre ellos: barras de construcción, ángulos, platinas, barras cuadradas, tees y canales U, en sus diferentes medidas.

Mediante el Proceso de Reducción Directa se extrae el oxígeno del mineral de hierro, obteniéndose como resultado el hierro esponja, insumo de la más alta calidad para la fabricación de nuestro acero.



Fig1.1 Planta de Arequipa

Planta N° 2 Pisco

Esta planta, cuenta con una capacidad de producción de 792,000 toneladas anuales de acero líquido y 1,100 toneladas métricas anuales de productos terminados. Se encuentra ubicada en el desierto de Paracas - Ica, en el Km. 241 de la Panamericana Sur. Está conformada por la Planta de Hierro Esponja, la Planta de Acería, la Planta de Laminación, y las instalaciones para el servicio de corte y doblado de barras de acero corrugado a medida.

Produce barras corrugadas, alambrón, ángulos, platinas, barras cuadradas, barras redondas y barras helicoidales



Fig1.2. Planta de Pisco.

1.2 RESEÑA HISTÓRICA

La empresa fue fundada en 1964 en la ciudad de Arequipa, iniciando sus operaciones en 1966 con la producción y comercialización de perfiles y barras lisas de acero para la industria metal-mecánica, construcción y de carpintería metálica. Por la alta calidad de sus productos, Aceros Arequipa se convirtió rápidamente en el principal abastecedor de estos productos en todo el Perú.

Con el objetivo de consolidar su desarrollo, en 1983 inauguró su segunda planta de laminación en la ciudad de Pisco, al sur de Lima, e incursionaron en la fabricación de barras corrugadas y alambrones.

Cinco años después, en 1988, la fusión con Laminadora del Pacífico permitió ampliar sus operaciones a la fabricación de acero en forma de palanquillas, materia prima para los productos laminados en caliente.

A comienzos de la década de los 90, se introdujeron los conceptos de calidad total entre el personal, como paso previo a la modernización de la organización en las plantas.

De esta manera, luego de inculcar esta filosofía mediante los círculos de control de calidad y grupos de progreso, y de obtener importantes premios, la empresa recibió en 1997 la Certificación ISO 9002 para los procesos en la planta de Pisco, y meses más tarde para la planta de Arequipa. Actualmente, han adecuado un sistema de calidad a las nuevas exigencias de la norma ISO 9001 versión 2008.

En 1996 invirtieron 16 millones de dólares en tecnología de vanguardia y pusieron en funcionamiento la moderna planta de hierro esponja, en Pisco, para mejorar la calidad de sus aceros más finos y asegurar el abastecimiento oportuno del mercado.

A fines de 1997, fue fusionada con la empresa Aceros Calibrados S.A. a fin de ampliar su portafolio de productos. De esta manera, nace Corporación Aceros Arequipa S.A. (CAASA).

En el año 2002, CAASA invirtió 9.5 millones de dólares en la automatización de la línea de laminación y la implementación de la planta de laminado en frío en Pisco.

Dos años más tarde, en el 2004, realizaron una inversión de 14.5 millones de dólares para la implementación de la nueva línea de producción de alambra.

Pocos meses después iniciaron el proyecto de conversión a gas natural y pusieron en funcionamiento la planta fragmentadora de acero reciclado.

En julio de 2007, concluyeron las obras que permitieron aumentar la capacidad de producción de la planta de Pisco. Esta primera etapa de ampliación, significó una inversión de más de 45 millones de dólares y permitió incrementar la capacidad de producción de 350 mil a 550 mil toneladas de acero anuales.

Hoy en día, produce 700,000 toneladas de acero líquido anuales, de esta manera Corporación Aceros Arequipa se consolida como una empresa moderna y sólida que fabrica productos de calidad internacional, cuyo principal objetivo es continuar satisfaciendo las necesidades del mercado nacional y regional, contribuyendo al desarrollo del Perú.

CAPITULO II

CONCEPTOS BÁSICOS

2.1 COMPOSICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS.

El acero es una aleación de hierro con carbono en una proporción que oscila entre 0,008 y 2%. Se le pueden añadir otros elementos para mejorar su dureza, maleabilidad u otras propiedades.

Las propiedades físicas de los aceros y su comportamiento a distintas temperaturas dependen sobre todo de la cantidad de carbono y de su distribución. Antes del tratamiento térmico, la mayoría de los aceros son una mezcla de tres sustancias, ferrita, perlita, cementita. La ferrita, blanda y dúctil, es hierro con pequeñas cantidades de carbono y otros elementos en disolución. La cementita es un compuesto de hierro con el 6.67% de carbono aproximadamente, es de gran dureza y muy quebradiza. La perlita es una

mezcla de ferrita y cementita, con una composición específica y una estructura característica; sus propiedades físicas con intermedias entre las de sus dos componentes. La resistencia y dureza de un acero, que no ha sido tratado térmicamente, depende de las proporciones de estos tres ingredientes. Cuanto mayor es el contenido en carbono de un acero, menor es la cantidad de ferrita y mayor la de perlita: cuando el acero tiene un 0,8% de carbono, está por compuesto de perlita. El acero con cantidades de carbono mayores, es una mezcla de perlita y cementita. Acero con cantidades de carbono mayores, es una mezcla de perlita y cementita.

CLASIFICACIÓN DEL ACERO

Los aceros se clasifican en cinco grupos principales: aceros al carbono, aceros aleados, aceros de baja aleación ultrarresistentes, aceros inoxidables y aceros de herramientas.

Aceros al carbono

El 90% de los aceros son al carbono. Estos aceros contienen una cantidad diversa de carbono, menos de 1,65% de manganeso y 0,6% de silicio, aproximadamente. Con este tipo de acero se fabrican maquinas, carrocerías de automóvil, estructuras de construcción, pasadores de pelo, ganchos para ropa, etc.

Aceros aleados

Estos aceros están compuestos por una proporción determinada de vanadio, molibdeno y otros elementos; además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre que los aceros al carbono. Estos aceros se emplean para fabricar engranajes, ejes, cuchillos, etc.

Aceros de baja aleación ultrarresistentes

Es la familia de aceros más reciente de las cinco. Estos aceros son más baratos que los aceros convencionales, debido a que contienen menor cantidad de materiales costosos de aleación. Sin embargo, se les da un tratamiento especial que hace que su resistencia sea mucho mayor que la del acero al carbono. Este material se emplea para la fabricación de vagones, porque al ser más resistente, sus paredes son más delgadas, con lo que la capacidad de carga es mayor. Además, al pesar menos, también se pueden cargar con un mayor peso. También se emplea para la fabricación de estructuras de edificios.

Aceros inoxidables

Estos aceros contienen cromo, níquel, y otros elementos de aleación que los mantiene resistentes a la oxidación. Algunos aceros inoxidables son muy duros y otros muy resistentes, manteniendo esa resistencia durante mucho tiempo a temperaturas extremas. Debido a su brillo, los arquitectos lo emplean mucho con fines decorativos.

También se emplean mucho para tuberías, depósitos de petróleo y productos químicos, por su resistencia a la oxidación y para la fabricación de instrumentos quirúrgicos o sustitución de huesos, porque resiste a la acción de los fluidos corporales. Además se usa para la fabricación de útiles de cocina, como pucheros o marmitas, gracias a que no oscurece alimentos y es fácil de limpiar.

Aceros de herramientas

Estos aceros se emplean para fabricar herramientas, cabezales de corte y modelado de máquinas. Contiene wolframio, molibdeno y otros elementos de aleación que le proporcionan una alta resistencia, dureza y durabilidad.

La clasificación del Acero se puede determinar, también, en función de su composición química.

Clasificación de Acero por su composición química:

Acero al carbono. Se trata del tipo básico de acero que contiene menos del 3% de elementos que no son hierro ni carbono.

Acero de alto carbono. El Acero al carbono que contiene más de 0.5% de carbono.

Acero de bajo carbono. Acero al carbono que contiene menos de 0.3% de carbono.

Acero de mediano carbono. Acero al carbono que contiene entre 0.3 y 0.5% de carbono.

Acero aleado. Acero que contiene otro metal que fue añadido intencionalmente con el fin de mejorar ciertas propiedades del metal.

Acero inoxidable. Tipo de acero que contiene más del 15% de cromo y demuestra excelente resistencia a la corrosión.

2.1.1 Principales componentes de los Aceros

En los aceros, el carbono se encuentra en general, o combinado en forma de cementita o disuelto, rara vez en forma de grafito. Este es el motivo por el cual solo se emplea el diagrama de equilibrio meta estable Fe - Fe₃C para el estudio de los aceros. Los constituyentes estructurales de equilibrio de los aceros son:

Austenita: Se define como una solución sólida de carbono en hierro gamma. Solo es estable a temperaturas superiores a 723° C, desdoblándose por reacción eutectoide, a temperaturas inferiores, en ferrita y cementita. Solo puede aparecer austenita a temperatura ambiente en los aceros austeníticos, en este caso la austenita si es estable a temperatura ambiente. Es deformable como el hierro gamma, poco duro, presenta gran resistencia al desgaste, es magnética, es el constituyente más denso de los aceros y no se ataca con reactivos. La resistencia de la austenita retenida a la temperatura ambiente oscila entre 800 y 1000 N/mm y el alargamiento entre 20 y 25%. Puede disolver hasta 1,7-1,8 % de carbono. Presenta red cristalográfica cúbica

centrada en las caras (c.c.c.), con los siguientes parámetros de red, $a = 3,67 \text{ \AA}$ y $d = 2,52 \text{ \AA}$.

Ferrita: Este constituyente está formado por una solución sólida de inserción de carbono en hierro alfa. Es el constituyente más blando de los aceros pero es el más tenaz, es el más maleable, su resistencia a la tracción es de 2800 N/mm y su alargamiento de 35%. Su solubilidad máxima es de 0,008%. Puede también mantener en solución de sustitución a otros elementos tales como Si, P, Ni, Cr, Cu... que figuran en los aceros, bien como impurezas, bien como elementos de aleación. La ferrita se presenta en los aceros hipoeutectoides como constituyente y mezclada con la cementita entra a formar parte de la perlita. Si el acero es muy pobre en carbono, su estructura está formada casi en su totalidad por granos de ferrita cuyos límites pueden revelarse fácilmente con el microscopio, después de un ataque con ácido nítrico diluido.

Los granos son equiaxiales. Tiene una distancia interatómica de $2,86 \text{ \AA}$ y un diámetro atómico de $2,48 \text{ \AA}$.

Perlita: Está formada por una mezcla eutectoide de dos fases, ferrita y cementita, se produce a 723° C cuando la composición es de 0,80%. Su estructura está constituida por láminas alternadas de ferrita y cementita, siendo el espesor de las láminas de ferrita superior al de las de cementita, estas últimas quedan en relieve después del ataque con ácido nítrico, lo cual hace que en la observación microscópica se revelen por las sombras que proyectan sobre las láminas de ferrita. La perlita es más dura y resistente que

la ferrita, pero más blanda y maleable que la cementita. Se presenta en forma laminar, reticular y globular.

Cementita: Es un constituyente que aparece en fundiciones y aceros. Es el carburo de hierro, de fórmula Fe_3C , que cristaliza en el sistema ortorrómbico. Es muy frágil y duro, teniendo sobre 840 Vieras, y es muy resistente al rozamiento en las fundiciones atruchadas. A bajas temperaturas es ferromagnético y pierde esta propiedad a $212^{\circ}C$ (punto de Curie). Se piensa que funde por encima de $1950^{\circ}C$, y es termodinámicamente inestable a temperaturas inferiores a $1200^{\circ}C$. Se puede presentar en forma reticular, laminar y globular.

Bainita: Es el constituyente que se obtiene en la transformación isotérmica de la austenita cuando la temperatura del baño de enfriamiento es de 250 a $500^{\circ}C$. Se diferencian 2 tipos de estructuras: la Bainita superior de aspecto arborescente formada a $500-580^{\circ}C$, compuesta por una matriz ferrítica conteniendo carburos y la Bainita inferior, formada a $250-400^{\circ}C$ tiene un aspecto similar a la martensita y está constituida por agujas alargadas de ferrita que contienen delgadas placas de carburos. La bainita tiene una dureza que va de 40 a 60 HRc.

Sorbita: Se obtiene con un revenido después del temple. Al realizar el calentamiento la martensita experimenta una serie de transformaciones y en el intervalo comprendido entre 400 y $650^{\circ}C$ la antigua martensita ha perdido tanto carbono, que se ha convertido ya en ferrita. La estructura así obtenida se conoce como sorbita.

Martensita: Es una solución sólida, intersticial, sobresaturada de carbono en hierro alfa. Es el constituyente estructural de temple de los aceros y su microestructura se presenta en forma de agujas cruzadas. Los átomos de hierro están como en la ferrita, en los vértices. Los átomos de carbono están en las caras y en las aristas, presenta por tanto una red distorsionada. Esta distorsión de la red es la responsable de la dureza de la martensita. Presenta una red tetragonal. Sus características mecánicas son resistencia a la tracción entre 170-250 Kg/mm, dureza HRc entre 50-60, alargamiento de 0,5 % y es magnética.

2.1.2 Método de observación de muestras de aceros

El examen estructural de los materiales y aleaciones por vía microscópica es una de las armas principales que posee el metalurgista, ya sea en investigación científica como en el control de la calidad de los materiales, teniendo en cuenta la conocida relación estructura - propiedades. Pese a las nuevas técnicas e instrumental aparecidos durante los últimos tiempos, tales como el microscopio electrónico y el de emisión, el microscopio metalográfico óptico no ha sido desplazado en modo alguno y conjuntamente con los medios indicados y los Rayos X, puede dar un panorama bastante completo del estado estructural del metal o aleación en estudio.

La importancia de la observación micrográfica está dada por la influencia que ejercen los componentes químicos de una aleación que pueden encontrarse en forma de una solución sólida homogénea, en forma de un compuesto

intermetálico de composición química definida, dispersa en el seno de una solución sólida, en forma de una mezcla eutéctica, etc.

Estos componentes reciben el nombre de constituyentes metalográficos y de sus proporciones, formas y estados dependen las propiedades físicas de una aleación. Por lo tanto, el desarrollo de la técnica que nos permite observar dichos constituyentes deberá ser objeto de un trabajo consciente. El primer paso dentro de esta área técnica metalográfica será la zona micrográfica a estudiar y que deberá ser representativa del fenómeno a observar, teniendo en cuenta la forma, función y origen del material.

La obtención de una superficie perfectamente plana y pulido especular, nos permitirá llegar a conclusiones exactas y ello dependerá exclusivamente de la prolijidad y esmero con que se realice esa tarea, siguiendo las técnicas usuales.

La elección de los reactivos de ataque y de los aumentos a los que serán observados los distintos constituyentes, están dentro de las variables que juegan en un análisis metalográfico, como son la calidad de lo que se quiere observar y la dimensión apropiada de su magnificación para interpretar el problema que se desea estudiar.

Se puede concluir entonces, que el objetivo de la preparación de una muestra metalográfica es la revelación de la estructura verdadera, llamando en teoría estructura verdadera a la cual no posea deformaciones, rayas, arranques de material, elementos extraños, aplastamientos, relieves, bordes redondeados y

daños térmicos. Esto se logra con la realización de un método sistemático de preparación de muestras.

2.2 METALOGRAFÍA

Es la ciencia que estudia las características estructurales o constitutivas de un metal o aleación relacionándolas con las propiedades físicas y mecánicas.

Entre las características estructurales están el tamaño de grano, forma y distribución de las fases que comprenden la aleación y las inclusiones no metálicas, así como la presencia de segregaciones y otras irregularidades, que profundamente pueden modificar las propiedades mecánicas y el comportamiento general de un metal.

Mucha es la información que puede suministrar un examen metalográfico. El principal instrumento, para la realización de un examen metalográfico, es el microscopio metalográfico, como el que se muestra en la figura 2.1, con el cual es posible examinar una muestra con aumentos que varían entre 50X y 2000X.

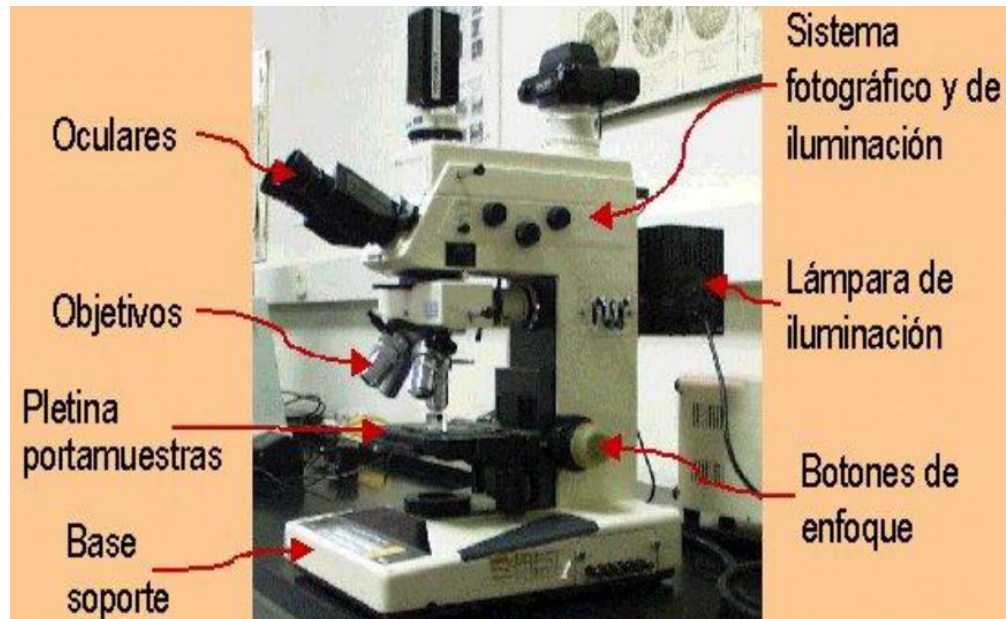


Figura 2.1. Microscopio metalúrgico, con el trazado del haz luminoso a través del sistema óptico.

2.3 FOTOMICROGRAFÍA

Fotografía con microscopio. Casi todas las cámaras electrónicas tienen adaptadores para acoplar el cuerpo al tubo del microscopio y su sistema de enfoque y lectura a través del objetivo las hace particularmente cómodas para esta especialidad.

El microscopio óptico alcanza hasta unos 2000 aumentos, y el eléctrico, que emplea un haz de electrones en lugar de luz, llega hasta 100 000 o más. Estos microscopios incorporan casi siempre una cámara especial.

Una fotografía tomada a través de un microscopio se llama fotomicrografía, términos que no deben confundirse con microfotografía, que se refiere a la reproducción de documentos en película de pequeño formato.

2.4 EXAMEN METALOGRÁFICO

El examen metalográfico tiene como objeto establecer el estado de un metal en un instante dado en su vida. Puesto que el estado (E) de un metal o una aleación de composición conocida está determinado por su integridad (i) y su estructura (e), es decir puesto que se cumple $E = f(i, e)$, resulta que el examen metalográfico, concretamente, persigue el estudio de la integridad y estructura de un metal o de una aleación dada.

La integridad de un material metálico está determinada por la continuidad o discontinuidad de la masa metálica. Se dice que un material metálico es íntegro o continuo cuando carece de discontinuidades físicas macroscópicas. La discontinuidad más frecuente son: fisuras, sopladuras, micro cavidades de contracción e inclusiones no metálicas (refractarios o escorias), etc.

El examen metalográfico se parece mucho al examen clínico. Ambos se aplican en una etapa de la vida, de un metal o de un hombre, respectivamente. El examen clínico se le aplica a un hombre antes de un trastorno patológico para establecer sus posibilidades y prevenir males ulteriores o después de un trastorno patológico para establecer la causa del trastorno. Análogamente, el examen metalográfico se aplica a una pieza antes de ser destinada a un fin

para prevenir inconvenientes en su servicio o después de aparecer una falla en su trabajo para establecer la causa de la falla. Tanto en el examen metalográfico como en el clínico puede hacerse un diagnóstico y un pronóstico: el primero tiene como objeto establecer el estado presente y el segundo predecir el estado a alcanzarse con mayor probabilidad en el futuro.

La analogía entre el examen metalográfico y el examen clínico va más lejos aún; ambas especialidades acuden al análisis químico para completar el conocimiento del síndrome. Sin embargo, entre el examen metalográfico y el examen clínico existe una diferencia fundamental; el clínico examina al enfermo en su totalidad, en tanto que el metalografista debe limitarse a una parte muy pequeña del todo, por lo cual no puede servirse de la semiología propedéutica y por tanto el cuadro sintomático a menudo es incompleto.

El examen metalográfico durante el servicio de una pieza, en la mayoría de los casos, se hace como consecuencia de no haber hecho el examen de control antes de entrar la pieza en servicio. Este examen es el más común. Se realiza sobre piezas que no han soportado un determinado servicio, es decir, piezas que en la mayoría de los casos se han deformado, roto, desgastado, corroído. En estos casos, lo que se pretende del metalografista es que determine la causa de la anomalía, lo que casi siempre es un problema complejo. El examen metalográfico previo al uso de un metal (examen metalográfico de control) tiende a adelantarse a los resultados prácticos.

2.5 EXAMEN MACROGRÁFICO

Es la forma más sencilla de realizar un estudio, este consta en examinar la superficie metálica a simple vista, pudiendo determinar de esta forma las características macroscópicas, del cual se puede obtener datos sobre los tratamientos mecánicos sufridos por el material (es decir se puede determinar si el material fue trefilado, laminado, forjado, etc.) o determinar la distribución de defectos (grietas superficiales, rechupes, poros, partes soldadas, etc.).

2.6 EXAMEN MACROSCÓPICO

Dependiendo del estudio a realizar, se utilizan criterios para el tipo de corte a realizar (transversal o longitudinal) para extraer la muestra, por ejemplo, un corte transversal para determinar la naturaleza del material, homogeneidad, segregaciones, proceso de fabricación de caños, etc., y un corte longitudinal para controlar los procesos de fabricación de piezas, tipo y calidad de la soldadura, etc.

2.7 EXAMEN MICROGRÁFICO

Es una técnica más avanzada que el micrográfico y necesita de una preparación más especial y cuidadosa de la muestra. Se basa en la amplificación de la superficie mediante instrumentos ópticos (microscopio) para observar características estructurales microscópicas (microestructura). Este tipo de examen permite realizar el estudio o controlar el proceso térmico al que ha sido sometido el metal, debido a que los mismos nos ponen en evidencia la

estructura o los cambios estructurales que sufren en dicho proceso. Como consecuencia de ello también es posible deducir las variaciones que experimentan sus propiedades mecánicas (dependiendo de los constituyentes metalográficos presentes en la estructura).

2.8 EXAMEN DE LA MICROESTRUCTURA

Este es muy útil para determinar si un metal o aleación satisface las especificaciones en relación a trabajos mecánicos, tratamientos térmicos y composición general. La microestructura es un instrumento para analizar las fallas metálicas y para controlar procesos industriales.

2.9 EL MICROSCOPIO METALÚRGICO

La técnica microscópica que se aplica a los metales difiere de la comúnmente empleada porque los metales son opacos. En consecuencia, el haz de iluminación debe incidir sobre la superficie de la probeta a observar, aproximadamente en ángulo recto y reflejarse hacia el ocular. La figura 2.2 muestra una de las técnicas utilizadas para obtener dicha iluminación de "haz incidente".



Figura 2.2 Microscopio metalúrgico y trayectoria de la luz a través del mismo.

Los detalles de la estructura de los metales no son fácilmente visibles, pero las estructuras del grano de los metales pueden verse con un microscopio. Las características del metal, el tamaño de grano y el contenido de carbono, en los aceros, pueden determinarse estudiando la micrografía.

El porcentaje aproximado de carbón puede estimarse por medio de porcentaje de perlita (zonas oscuras) en los aceros al carbono recocidos. Para este propósito, se utilizan un microscopio metalúrgico y técnicas asociadas de foto microscopia. El microscopio metalúrgico de luz reflejada es similar a aquellos utilizados para otros propósitos, excepto que contiene un sistema de iluminación dentro del sistema de lentes para proveer iluminación vertical, Figura 2.3.

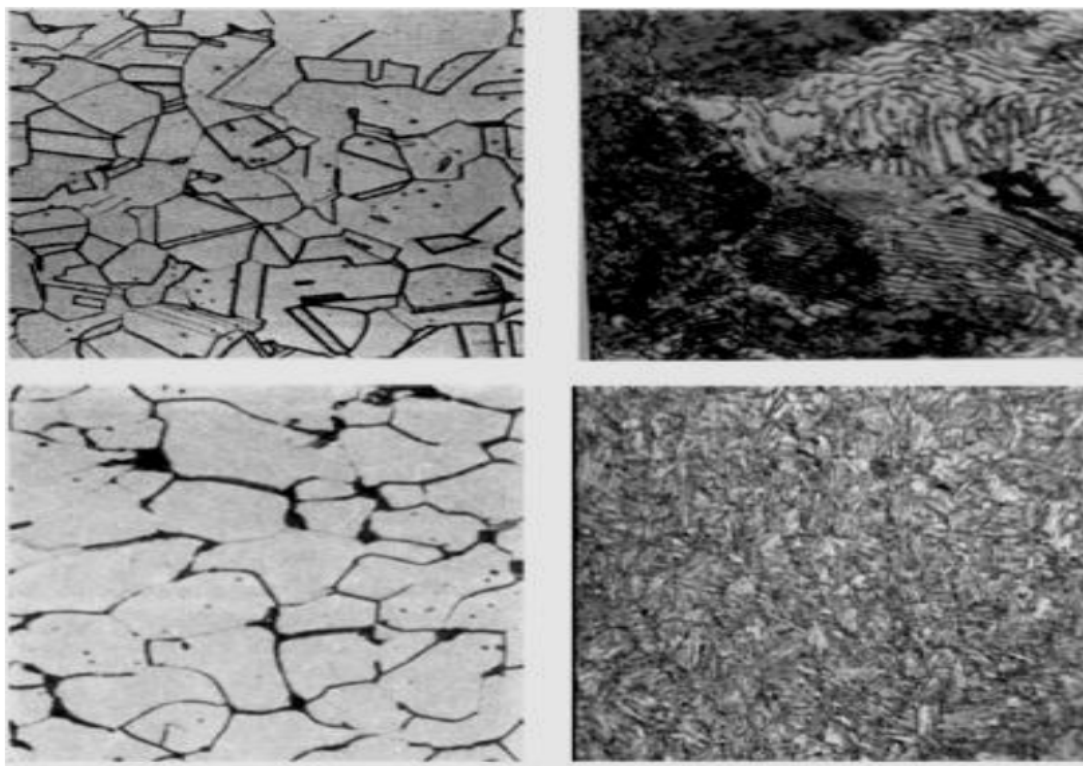


Figura 2.3 Microestructuras de aceros obtenidas en un microscopio metalúrgico.

Algunos microscopios, también tienen un retículo y una escala micrométrica para medir la imagen aumentada. Otro retículo que se utiliza, contiene los diferentes tamaños de grano a aumentos de 100X y se utiliza para comparar o medir el tamaño de grano relativo. Los filtros y polarizadores se utilizan en la iluminación o el sistema óptico para reducir el brillo y mejorar la definición de las estructuras de grano. En poder de aumento del microscopio puede determinarse si se multiplica el poder de la lente objetivo por el del ocular. Por tanto, un lente objetivo de 40X con un ocular de 12.5X agrandaría la imagen hasta 500X (500 diámetros).

Los microscopios de platina invertida ofrecen un diseño más moderno. En este instrumento la muestra se coloca boca abajo en la platina. Se utiliza un microscopio de platina invertida, junto con una cámara de video y un monitor de TV de circuito cerrado. El poder de amplificación del microscopio aumenta, pero se pierde algo de resolución. La mayor ventaja de este arreglo se obtiene en la visualización de grupo.

Los instrumentos de metalografía también permiten una observación en grupo del aumento metalúrgico. La imagen se proyecta sobre una pantalla de brillo mate. En los grandes laboratorios metalúrgicos se utilizan modelos de gran tamaño.

Muchos instrumentos metalográficos tienen la capacidad de producir microfotografías de color instantáneas o estándar. Para obtener fotografías, existen adaptadores para la mayoría de los microscopios. Los adaptadores de manga sencilla pueden utilizarse con una cámara SLR de 35 mm para la toma de foto micrografías. Con este arreglo simple, el obturador se abre y se permite la entrada de la luz durante pocos segundos (6 a 8 segundos con una película Panasonic-X de 32 ASA). El enfoque se realiza sobre el vidrio mate de la cámara.

Un aspecto extremadamente importante de la metalografía, es su empleo en el control de los procesos comerciales de tratamientos térmicos, puesto que los cambios estructurales pueden a menudo observarse al microscopio. Por ejemplo la figura 2.4 muestra la microestructura de una aleación de cobre con 2 % de berilio que se ha sometido a un tratamiento de

endurecimiento por envejecimiento. Además de la reacción uniforme, perjudicial localizada en las proximidades de los límites de grano. Mediante un examen microscópico de este tipo, es posible de determinar la causa de las dificultades y proceder a su corrección, en este caso añadiendo cobalto.

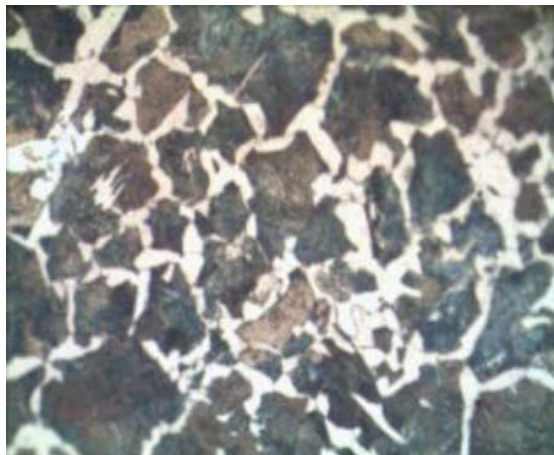


Figura 2.4. Precipitación discontinua en los límites de grano de un acero, 100X.

2.10 TÉCNICAS MICROSCÓPICAS ESPECIALES

La utilidad del microscopio metalúrgico puede ampliarse con ayuda de diversos aparatos auxiliares, como son los que permiten observar aspectos estructurales que no son visibles en condiciones normales. Como base para la comprensión de estas técnicas especiales, debe hacerse notar el hecho de que el contraste bajo iluminación normal (campo claro) es el resultado de las diferencias en la cantidad total de luz reflejada en el ocular, por las diversas zonas de la muestra.

Por ejemplo, las zonas blancas de la figura 2.5, difieren de las zonas negras solamente en la orientación de las facetas cristalinas su microscópicas

producidas por el procedimiento de ataque, por ejemplo los límites de grano, serán brillantes.

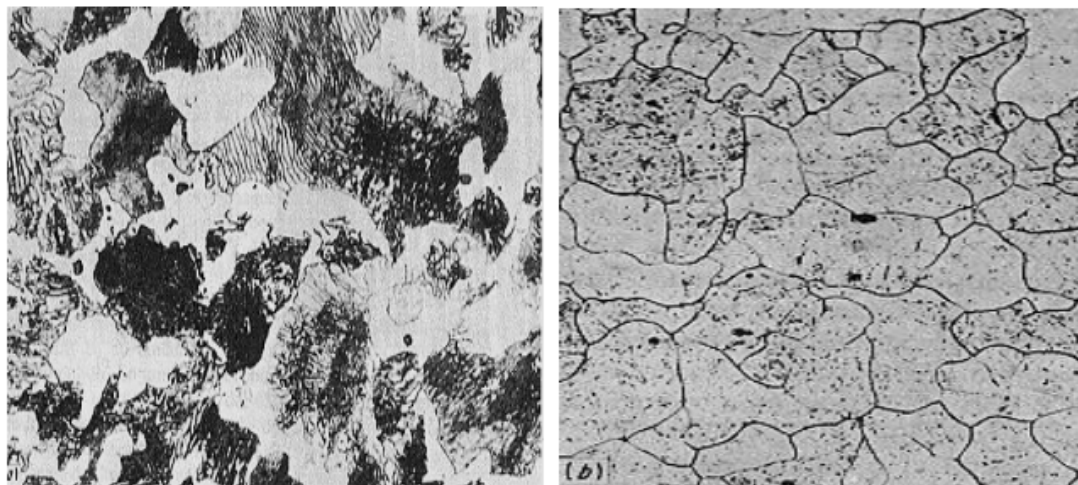


Figura 2.5 a) Fotomicrografía de la diferencia en composición química de las fases
b) Fotomicrografía de hierro puro.

Cuando se introducen principios que sirven para producir contraste, se abren nuevas posibilidades de aplicación del microscopio. El empleo de la luz polarizada es especialmente efectivo para las escorias, minerales, inclusiones y sustancias no - metálicas similares, aunque también se ha aplicado a las estructuras de los metales. En la microscopía de contraste de fase se utiliza un segundo principio.

En este tipo de microscopía se hace que el contraste dependa, en parte, de la fase de la luz reflejada. Puesto que el ojo humano es insensible a las diferencias de fase, debe incorporarse al microscopio un aparato óptico especial. Las diferencias de fase causadas por variaciones extremadamente pequeñas al nivel de la microestructura, se transforman, más tarde, en

diferencias de intensidad en la imagen observada, revelando de esta forma aspectos casi invisibles bajo iluminación ordinaria de campo claro.

Cuando han de realizarse medidas cuantitativas de aspectos estructurales, en los que se incluyen pequeños desplazamientos verticales en la superficie de la muestra, puede utilizarse uno de los diversos tipos de interferómetros existentes.

CAPITULO III

PREPARACIÓN DE UNA MUESTRA METALOGRÁFICA DE ACEROS

3.1 SELECCIÓN DE LA PROBETA METALOGRÁFICA DE ACERO.

La elección de la muestra que ha de ser examinada al microscopio es de gran importancia, ya que ha de lograrse una probeta representativa del material a examinar; por desgracia, no se le suele dar toda la importancia que merece.

Las probetas seleccionadas deben ser características del metal estudiado y servir para el fin a que se dirige tal estudio; por ejemplo, si se ha roto durante el servicio una pieza y el objeto del estudio metalográfico es determinar las causas de la rotura, la probeta debe seleccionarse y obtenerse de aquella región particular de la fractura que pueda dar el máximo de información. Para poder hacer comparaciones, una probeta de esta naturaleza debe complementarse con otra tomada en una sección normal y sana de la pieza

en cuestión. El examen de ambos tipos de probeta es deseable porque las inclusiones y otras características pueden no observarse satisfactoriamente sobre probetas tomadas en una sola de estas direcciones.

Si la sección que ha de ser observada y ha de tomarse como probeta es relativamente blanda, la separación puede hacerse mediante una sierra mecánica o manual. Cuando las aleaciones son frágiles, como ocurre con las fundiciones y algunos bronceos ricos en estaño, se puede romper la pieza con un martillo y seleccionar un fragmento adecuado como probeta.

Las probetas de materiales duros, que no se pueden cortar con facilidad, tales como aceros templados y las aleaciones no férreas endurecidas por envejecimiento, se pueden cortar con seguridad empleando discos abrasivos. Como los de la figura 3.1, Tales disco son generalmente delgados y son un conglomerado de un abrasivo adecuado, tal como alúmina, carborundo o polvo de diamante. El enfriamiento se logra manteniendo la probeta totalmente sumergida en agua u otros líquidos refrigerantes, o proyectando sobre ella una corriente ininterrumpida del líquido de refrigeración y precisamente en la región que se corta.

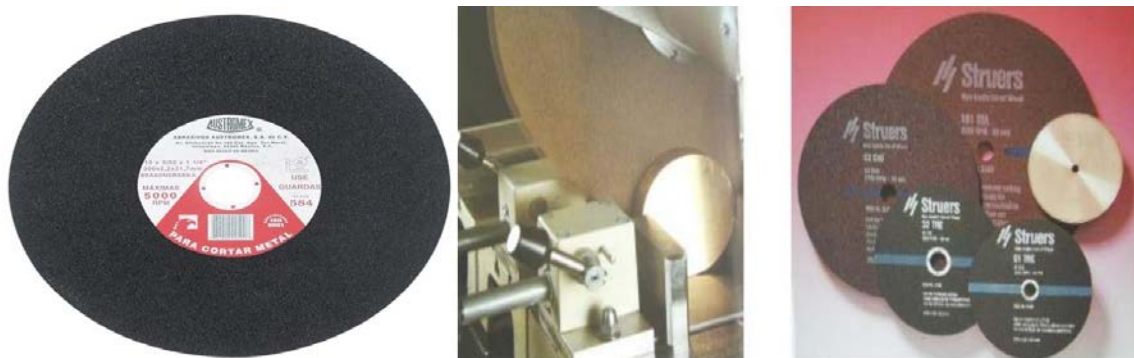


Figura 3.1. Discos abrasivos de corte

Si no se elige cuidadosamente el disco de corte y no se enfría suficientemente la probeta durante el corte, se altera radicalmente la estructura original, por lo menos en la superficie obtenida por el corte, como consecuencia del calor desarrollado por el frotamiento. Siempre que sea posible, las probetas deben tener un tamaño conveniente y cómodo de manejar. Las probetas de superficie muy grande pueden requerir tiempos de pulido excesivamente largos, mientras las demasiado pequeñas tienden a redondearse durante el desbaste, obteniéndose superficies preparadas curvas, con los bordes estropeados.

Hay veces que una vez recibido el material es necesario seccionarlo o cortarlo en una forma determinada. Se trata de lograr superficies planas con la menor deformación posible.

En general, los mejores resultados se obtienen con corte por abrasivo húmedo (disco abrasivo: de Al_2O_3 para metales ferrosos y Si-C para no ferrosos). En general, materiales blandos se cortan con discos duros y

viceversa. Un factor a tener en cuenta es la temperatura generada por rozamiento en el corte, el cual debe realizarse con un líquido refrigerante, (en el caso del disco abrasivo y/o serrucho mecánico o manual), de lo contrario se estaría modificando la estructura original. Si se corta con soplete se debe eliminar la zona afectada por el calor mediante algún método mecánico.

En todos los casos, y como ya se ha mencionado, la muestra que se extraiga, debe representar las características del material de origen. En general se deben obtener por lo menos dos cortes: uno longitudinal y otro transversal, para analizar las estructuras y las propiedades en esas dos direcciones (salvo en el caso de materiales directos de colada-fundidos). Es decir, es necesario conocer de antemano el proceso de fabricación y/o tratamientos térmicos del espécimen para determinar las zonas de extracción y los tipos de corte a realizar. Si se realiza un estudio de falla, la muestra debe tomarse lo más cerca posible de la falla o en la iniciación de esta.

La selección de las probetas para el examen metalográfico es de gran importancia, ya que, para que su interpretación sea útil, las probetas deben ser representativas del material que se está estudiando. El propósito del examen metalográfico es fijar la localización de las probetas que van a estudiarse, con respecto al propósito del estudio, por lo que el examen metalográfico se clasifica en tres partes:

3.1.1 Estudio general de trabajo de rutina

Para el estudio general, deben escogerse probetas de la localización que revele mejor las variaciones máximas dentro del material bajo estudio. Por ejemplo, en fundiciones, las probetas deben tomarse de las zonas en donde se espera una máxima segregación. Así como también de secciones en donde la segregación sea mínima. En el examen de tiras de alambre, las probetas deben tomarse de cada extremo del rollo. Debe recordarse que esto es fácil, al tomarse pocas probetas para estudio, pero si esto es al azar entonces se estudiarán una mayor cantidad de probetas.

3.1.2. Estudio de fallas

Si se requiere determinar las causas de una falla, las probetas deben tomarse lo más cercano posible a la fractura o al inicio de la falla. Las probetas deben tomarse en muchos casos de un área sana para comparación de las estructuras y propiedades.

3.1.3 Estudio de investigación y zonas de corte

Para estudios avanzados de este tipo, solo el investigador puede determinar la selección de las probetas. Habiéndose establecido la localización de las muestras metalográficas que van a estudiarse, debe decidirse el tipo de sección que va a examinarse. En una fundición, una sección cortada perpendicularmente a la superficie mostrará las variaciones estructurales del exterior al interior de la fundición. En metales trabajados en frío o en caliente deben estudiarse tanto las secciones transversales como las longitudinales. En este campo, pueden requerirse investigaciones especiales, necesitándose a

veces probetas preparadas paralelamente a la superficie original del producto. En el caso de alambre y pequeñas piezas redondas, resulta ventajosa una sección longitudinal del centro de la probeta, cuando se estudia en conjunto con una sección transversal.

La preparación de las secciones transversales, tomadas perpendicularmente al eje principal, sirve en general para obtener la siguiente Información:

- ✓ Variaciones estructurales del centro a la superficie.
- ✓ Distribución de impurezas, no metálicas, a través de la sección.
- ✓ Descarburación superficial en material ferroso.
- ✓ Profundidad de las imperfecciones superficiales.
- ✓ Profundidad de la corrosión.
- ✓ Espesor del recubrimiento protector.
- ✓ Estructura del recubrimiento protector.
- ✓ Profundidad de la capa endurecida superficialmente.

Las secciones longitudinales, tomadas paralelamente al eje principal del material, proporcionan en general la siguiente información:

- ✓ Lo extenso de la deformación, en las impurezas no metálicas.
- ✓ El grado de deformación plástica, mostrada por la distorsión del grano.
- ✓ La presencia o ausencia de bandeo en la estructura.
- ✓ En general, la perfección obtenida con cualquier tratamiento térmico.

Las localizaciones de las superficies examinadas, deben siempre darse en los informes de los resultados y cualquier descripción de las fotomicrografías,

de tal manera que sean claras y exactas las secciones del material que se emplearon para la exanimación. En la Figura I, se muestra un método adecuado para Indicar la localización en la superficie de la muestra.

3.2 TAMAÑO DE LA MUESTRA METALGRÁFICA DE ACERO

Las probetas que van a pulirse para examen metalográfico, generalmente deben ser de 13 a 25 mm² aproximadamente, si el material es redondo. La altura de la probeta no debe ser mayor que el necesario, para el manejo de esta durante el pulido figura 3.2

No siempre es posible tener las probetas con las dimensiones dadas y a veces el material que va a examinarse es más chico o más grande. Por lo que, en el pulido de alambre, placa y de otros artículos pequeños, es necesario montar las probetas en una resina debido al inconveniente de su tamaño y forma.

Las muestras grandes pueden o no montarse, dependiendo del equipo con que se cuente.

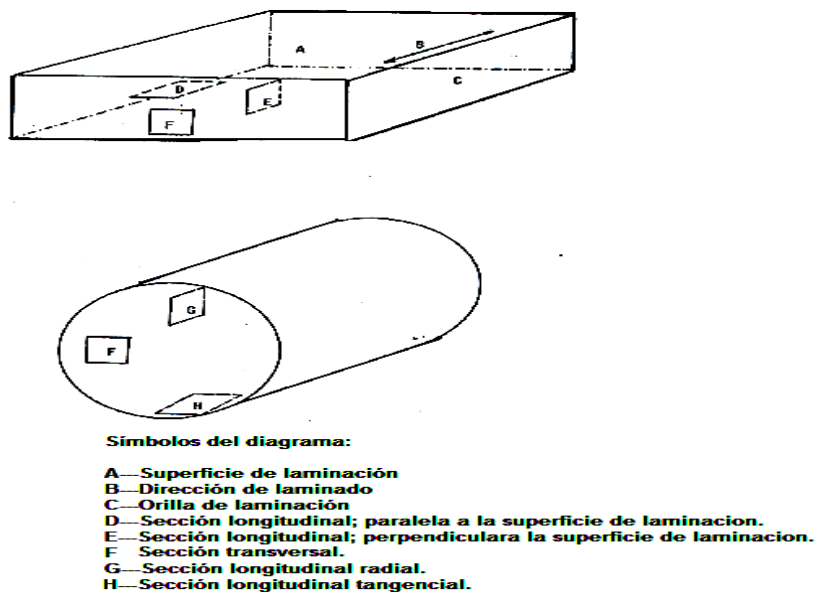


Figura 3.2 Métodos para elegir la ubicación de áreas mostradas en una micrografía

3.3 CORTE

La primera dificultad con que se encuentra el mecanógrafo es la elección de la muestra. Si se trata de estudiar el fallo de un material, la muestra se tomará de la zona más próxima posible al punto en que se ha producido el fallo, y se comparará posteriormente con otra obtenida en una sección normal.

Una posibilidad de error se puede producir al cortar el material para preparar la probeta; por ejemplo, si esta contiene martensita, al cortar en seco la probeta se destempla y el observador no aprecia lo que realmente existía en el material. La probeta se obtiene por corte con una sierra o disco abrasivo, de carburo de silicio, de diamante, etc., provisto de abundante refrigeración

para evitar, durante el corte, el calentamiento de la probeta. Nunca se utiliza el oxicorte.

Si la técnica de corte no es adecuada, también se puede desordenar el material. Para obtener microfotografías en los bordes con gran aumento, es necesario impedir que aquéllos, durante el pulido, tiendan a redondearse; esto se consigue de varias maneras mediante el acoplamiento del borde con otro material adecuado. Si se utilizan montajes con grapas o aros, al realizarse el ataque con el agente químico se pueden producir manchas, que se evitan haciendo el montaje sobre un metal depositado electrolíticamente, o bien separando los distintos metales con una hoja fina de metal.

Hay veces que una vez recibido el material es necesario seccionarlo o cortarlo en una forma determinada. Se trata de lograr superficies planas con la menor deformación posible. En general, los mejores resultados se obtienen con corte por abrasivo húmedo (disco abrasivo: de Al_2O_3 para metales ferrosos y Sic para no ferrosos). En general, materiales blandos se cortan con discos duros y viceversa. Un factor a tener en cuenta es la temperatura generada por rozamiento en el corte, el cual debe realizarse con un líquido lubrefrigerante, (en el caso del disco abrasivo y/o serrucho mecánico o manual), de lo contrario se estaría modificando la estructura original. Si se corta con soplete se debe eliminar la zona afectada por el calor mediante algún método mecánico. En todos los casos, y como ya se ha mencionado, la muestra que se extraiga, debe representar las características del material de origen. En general de deben obtener por lo menos dos cortes: uno longitudinal y otro transversal, para

analizar las estructuras y las propiedades en esas dos direcciones (salvo en el caso de materiales directos de colada - fundidos). Es decir, es necesario conocer de antemano el proceso de fabricación y/o tratamientos térmicos del espécimen para determinar las zonas de extracción y los tipos de corte a realizar. Si se realiza un estudio de falla, la muestra debe tomarse lo más cerca posible de la falla o en la iniciación de esta. El método de preparación de muestras metalográficas se encuentra normalizado en la norma ASTM E 3.

3.4 CORTE CON SIERRA

Produce severas condiciones de trabajo en frío y no es ventajoso. El corte mediante este método ocasiona superficies irregulares con valles excesivamente altos, dando como efecto más tiempo de aplicación de las técnicas de preparación de las muestras. Generalmente este tipo de corte es utilizado para extraer probetas de piezas muy grandes, para poder luego proceder con el corte abrasivo y adecuar la probeta a los requerimientos necesarios, Figura 3.3.

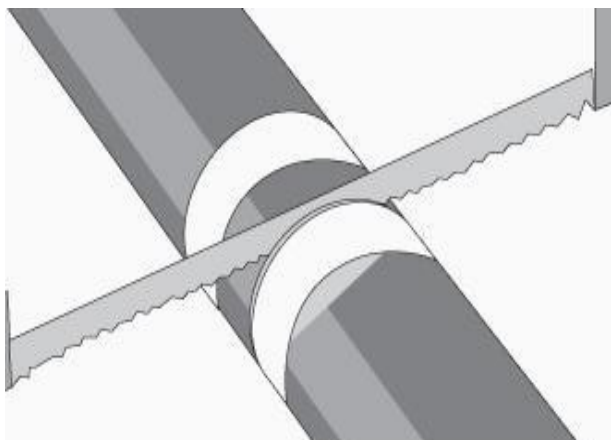


Figura 3.3. Corte con sierra cinta o con arco con segueta

3.5 CORTE CON DISCO ABRASIVO

Este tipo de corte es el más utilizado, ya que la superficie resultante es suave, y el corte se realiza rápidamente. Los discos para los cortes abrasivos, están formados por granos abrasivos (tales como óxido de aluminio o carburo de silicio), aglutinados con goma u otros materiales. Los discos con aglutinantes de goma son los más usados para corte húmedo; los de resina son para corte en seco, Figura 3.4.

Se puede decir que para la preparación de las probetas para su examen, y, en realidad, también para las que se han de tomar réplicas para usarlas con el microscopio electrónico, se exige lo siguiente:

- ✓ Tener una probeta del metal, que ciertamente sea representativa del mismo. Esto es importantísimo en todo análisis

- ✓ El tamaño de la probeta ha de ser tal que se pueda manejar con facilidad, de unos 2 a 2.5 cm de lado de sección y algo menos de gruesa. Las probetas más pequeñas se acostumbran montar sobre un molde; para ello se emplean formas fijadoras por el calor, termoendurecibles, completamente transparentes, cuando se quiere conocer la orientación de la probeta, o en baquelita. Algunos de los plásticos hay que tratarlos térmicamente, otros se endurecen por la acción de un agente químico.



Figura 3.4. Discos de corte y cortadora de muestras

3.6 MONTAJE DE MUESTRA

Con frecuencia, la muestra a preparar, por sus dimensiones o por su forma, no permite ser pulida directamente, sino que es preciso montarla o embutirla en una pastilla Figura 3.5 b). El material del que se componen estas puede ser Lucita (resina termoplástica) o Bakelita (resina termoendurecibles), esto se realiza con un montaje en caliente.

La muestra se coloca en una prensa generalmente hidráulica, se añade luego un polímetro o baquelita. Los polímetros pueden ser de dos tipos: termoendurecibles o termoplásticos.

Luego se somete el polímetro o baquelita a una presión y temperatura determinada según el caso y posteriormente se enfría. Luego se saca la muestra de la prensa, Figura 3.5 a).



Figura 3.5 a). Prensas de montaje y aglomerantes utilizados.

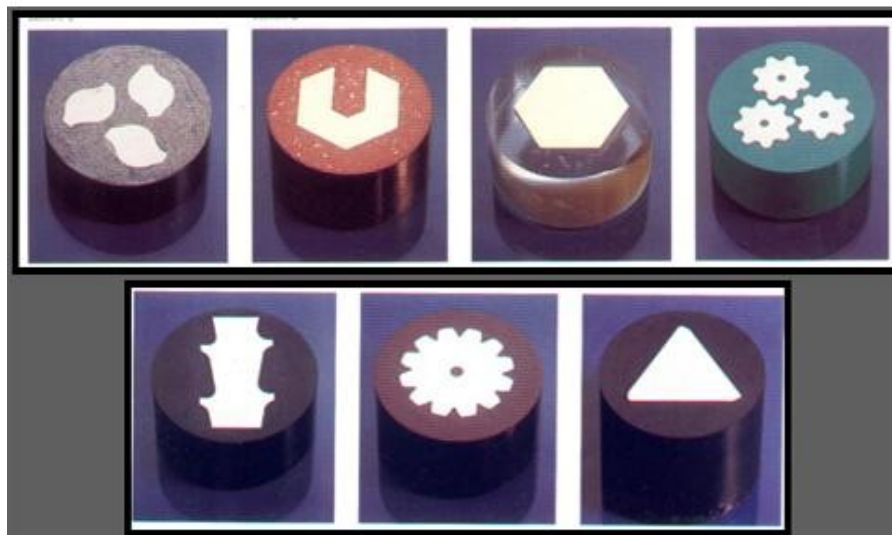
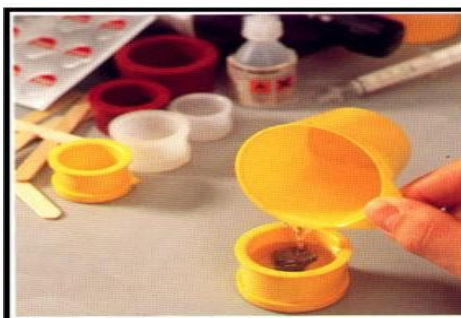


Figura 3.5 b). Muestras prensadas

Montaje en frío: Reacción química

La muestra se coloca en un molde, y luego se añaden las partes necesarias de las resinas, mezclándolas previamente y luego se vierten sobre la muestra cubriendo a ésta y todo el volumen entre la muestra y el molde.

Hay tres tipos de resinas en frío: Epoxi (menor contracción, excelente adherencia tiempo largo de solidificación), Acrílicas (menor tiempo y buena adherencia) y con termoplásticos de Poliéster (plásticas).



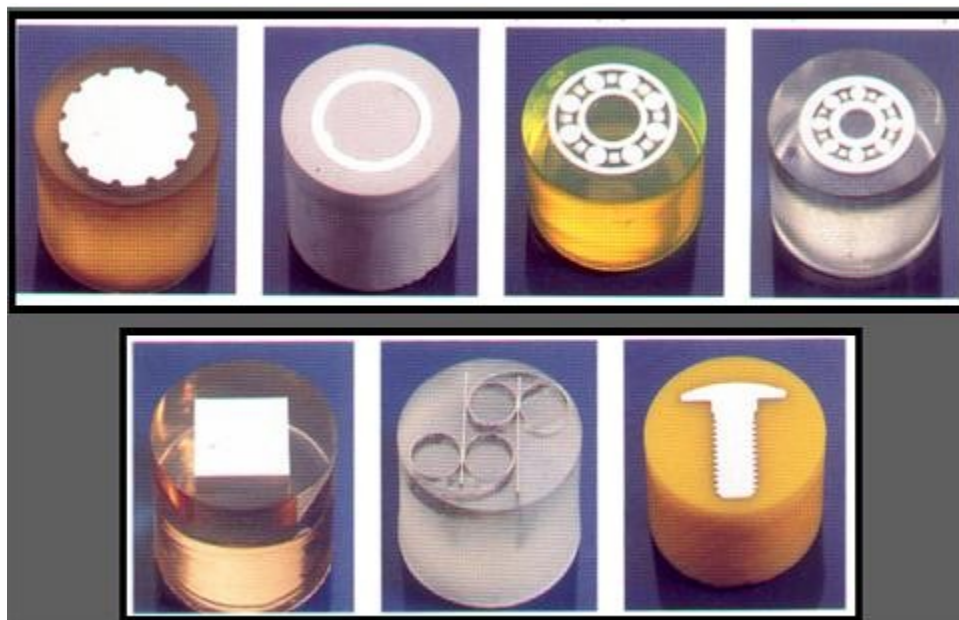


Figura 3.5. Probetas montadas en frío

3.7 DESBASTE

La finalidad del desbaste no es otra que la de preparar la superficie para el pulido, eliminando las capas distorsionadas, y obtener una superficie plana, ya que el microscopio tiene sólo una pequeña profundidad focal. Si la probeta es de material blando, se puede aplanar utilizando una lima fina, la cual debe manejarse mediante movimiento de vaivén presionando ligeramente. El desbaste consta principalmente de tres etapas:

- ✓ Desbaste grosero o burdo
- ✓ Desbaste intermedio
- ✓ Desbaste final

Cada etapa de preparación de probetas metalográficas debe realizarse muy cuidadosamente para obtener al final una superficie exenta de rayas.

3.7.1 Desbaste grosero (burdo)

Este desbaste se efectúa ya sea con papel para esmerilado manual o mecánico, como se observa en la Figura 2. 6, el cual debe de ser del No 180 o más grueso y se empleara para completar lo siguiente:

- ✓ Para aplanar irregularidades dañadas por el corte
- ✓ Para remover cascarillas y otras condiciones superficiales, antes del montaje
- ✓ Para remover gran cantidad de la probeta sin necesidad de cortarla, hasta alcanzar el plano deseado para el pulido.

La superficie que haya de observarse, se debe de hacer primero plana mediante un desbaste grosero. Cuando el área es grande, se puede terminar en un tiempo muy corto si se le gira ligeramente mientras se desbasta.

Ni durante el desbaste grosero, ni durante los posteriores, intermedio y final, se debe aplicar la probeta contra el medio abrasivo (lija del No 180 o más gruesa) con presión demasiado grande. La presión excesiva no sólo produce rayas muy profundas, difíciles de eliminar después, sino que también distorsiona intensamente el metal de la superficie de la probeta.

La distorsión del metal superficial no se puede evitar enteramente, pero se puede aminorar mucho mediante técnicas adecuadas de desbaste y pulido; la presión de contacto en las operaciones citadas debe mantenerse baja, y en

todo caso, el metal distorsionado se elimina mediante varios ciclos de pulido y ataque. Biselando los bordes de la probeta, durante el desgaste grosero, se evitan roturas y desgarrones de papeles y paños en las operaciones posteriores.



Figura 3.6. Papeles o lijas para esmerilado Fotomicrografía después de varias etapas de esmerilado

Siempre que sea posible, la muestra debe de ser de un tamaño fácil de manipular. Una muestra blanda puede aplanarse si se mueve lentamente hacia arriba o hacia abajo de una superficie de una lima plana poco áspera. La muestra blanda o dura puede esmerilarse burdamente sobre una lija de banda (rotatoria), manteniendo la muestra fría sumergiéndola frecuentemente en el agua durante la operación de esmerilado. En todas las operaciones

de esmerilado y pulido, la muestra debe moverse en sentido perpendicular a las ralladuras existentes.

Esto facilitará darse cuenta del momento en que las ralladuras más profundas hayan sido sustituidas por las menos profundas, características del abrasivo más fino. El esmerilado continúa hasta que la superficie queda plana y libre de mellas, rebabas etc., y que todas las ralladuras, debidas al corte manual o al disco cortador, no son visibles, lo cual lo podemos ver en la Figura 3.7.

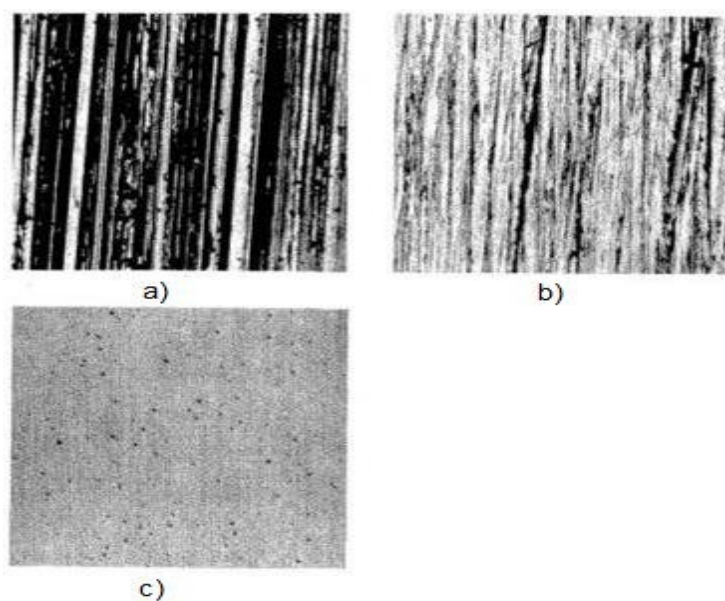


Figura 3.7 a) Superficie de la muestra después del esmerilado burdo Ampliación 100 X.
b) Superficie de la muestra después del pulido intermedio en papel 4/0 Ampliación 100 X.
c) Superficie de la muestra sin ralladuras después del pulido final Ampliación 50 X.

3.7.2 Desbaste intermedio

El papel de esmeril se coloca sobre una placa o sobre cualquier superficie bien plana y limpia. La probeta se mueve longitudinalmente de un lado a otro del papel, comprimiéndola con una presión suave; la dirección del movimiento se mantiene constante, para que todas las rayas producidas sean paralelas. El final de la operación sobre un papel está determinado por la desaparición de las rayas producidas por el desbaste grosero o el papel anterior, y para poder reconocerlo fácilmente se opera en forma que las nuevas rayas sean perpendiculares a las anteriores; así es más fácil ver cuándo estas nuevas rayas sustituyen totalmente a las anteriores más gruesas.

Para desbastar muchas probetas de aleaciones tratadas térmicamente, y en particular muchos de los metales blandos, es conveniente impregnar las lijas con un lubricante adecuado. Para este fin se han puesto muchos líquidos, tales como aceites, gasolina, soluciones de parafina en queroseno, jabones líquidos, glicerina, y mezclas de glicerina y agua. Estos lubricantes disminuyen la fluencia superficial de los metales blandos y evitan la modificación estructural superficial de las tratadas térmicamente, al actuar como refrigerantes, mejorándose los resultados que se obtendrían desbastando en seco.

3.7.3. Desbaste final

En el desbaste fino, la probeta es desbastada sucesivamente en papel abrasivo fino usando agua para evitar los desechos de la lija y a su vez actúa

como un lubricante. La probeta debe de limpiarse cuando se pasa a otra lija para evitar los rayones de abrasivos gruesos.

El desbaste puede hacerse de diferentes maneras, variando desde el pulido de la probeta en una lija hasta el empleo de aparatos automáticos. La elección del método depende del número de probetas que van a pulirse y de los requisitos especiales tales como uniformidad. El método más comúnmente utilizado es colocando un papel lija sobre un disco giratorio, colocando manualmente la probeta sobre el disco giratorio cubierto con la lija.

El desbaste debe de realizarse con una lija cada vez más fina que proporcione una buena planicidad a la probeta y que remueva las rayaduras de operaciones anteriores tales como las del corte. Una secuencia lógica de las lijas a utilizar es la siguiente: 240,320, 400, 600. Dependiendo del pulido de la superficie de la probeta pueden omitirse algunos números de lija.

En los métodos manuales, la probeta se va girando 90° entre lija y lija para poder determinar si el rayado de la lija anterior se ha removido por completo. La probeta también debe de deslizarse hacia atrás y hacia adelante para prevenir la ralladura. Al final del desbaste la probeta debe de estar plana y el rayado en una sola dirección.

La probeta debe de limpiarse perfectamente después del desbaste. Se recomienda la limpieza ultrasónica en un baño con detergente; en operaciones manuales debe de lavarse a mano.

El desbaste final o fino se realiza de la misma forma que los anteriores, tratando de que vayan disminuyendo las rayaduras lo más posible, Cada vez que se cambia de lija se opera en la forma descrita anteriormente, a fin de obtener rayas nuevas perpendiculares a las anteriores. Cuando la observación visual demuestra que sólo existen las rayas producidas por el último papel empleado y se han eliminado totalmente las anteriores, la probeta está en condiciones de ser pulida.

3.8 PULIDO

El pulido de una probeta metalográfica, tiene por objeto eliminar de su superficie las rayas finas producidas en la última operación de desbaste y conseguir una superficie sin rayas y con alto pulimiento.

El éxito del pulido y el tiempo empleado en la operación, dependen en gran manera del cuidado con que se haya realizado el desbaste. Si una probeta tiene rayas profundas y gruesas, que no se han eliminado en la última etapa de desbaste, se pierden el tiempo y el trabajo si se pretende eliminarlas en el pulido fino.

Mientras sea posible hay que tomar precauciones para que la operación se realice en un ambiente relativamente limpio de polvo.

3.8.1. Pulido fino

La última aproximación a una superficie plana libre de rayaduras se obtiene mediante una rueda giratoria húmeda, cubierta con un paño especial cargado con partículas abrasivas cuidadosamente seleccionadas en su tamaño. Existe

gran variedad de abrasivos para efectuar el último pulido, pero hay preferencia por la forma gamma del óxido de aluminio, para pulir materiales ferrosos y de los basados en cobre, y óxido de cerio para pulir aluminio, magnesio y sus aleaciones. Otros abrasivos que se utilizan a menudo son la pasta de diamante, óxido de cromo y óxido de magnesio.

La selección de un paño para pulir depende del material que vaya a pulirse y el propósito del estudio metalográfico. Se pueden encontrar paños de lanilla o pelillo variable; desde aquellos que no tiene pelillo, como la seda, hasta aquellos de pelillo intermedio, como paño ancho, paño de billar y lonilla, además de aquellos de pelillo profundo como el terciopelo. También se pueden encontrar paños sintéticos para pulir con fines de pulido general.

Una muestra pulida en forma adecuada mostrará únicamente las inclusiones no metálicas; además estará libre de rayaduras.

3.8.2 Pulido mecánico

Un pulido más eficaz se puede realizar mecánicamente, empleando un disco giratorio, que se cubre con papeles de esmeril, sujetándolo mediante un anillo de fijación apropiado. El disco debe girar a unas 600 rpm para el papel más grueso y a velocidades de preferencia más pequeñas con los papeles más finos.

En el pulido mecánico, es preciso extremar el cuidado para que la presión excesiva no produzca sobrecalentamiento de las probetas, con las

consiguientes alteraciones estructurales en las probetas térmicamente tratadas y distorsión exagerada del metal superficial.

El pulido preliminar y el final de una probeta metalográfica desbastada se realizan en uno o más discos. Tales discos son, esencialmente, platos de bronce de 20 a 25 cm. de diámetro, cubiertos con un paño de calidad apropiada. Los discos giran generalmente, en un plano horizontal y es conveniente que cada disco posea su motor individual, para facilitar el control y ajuste de la velocidad de rotación.

Los equipos de desbaste y pulido automáticos ahorran, sin duda alguna, mucho tiempo y trabajo del operador en las operaciones rutinarias de preparación de las probetas metalográficas. Sin embargo, muchos metalógrafos manifiestan que, en los equipos automáticos, contrariamente a lo que ocurre en las técnicas manuales, es difícil observar el progreso de la preparación de la probeta y, especialmente conseguir el control del grado final del pulido, que es necesario en un trabajo preparatorio de alta calidad, Figura 3.8.



Figura 3.8. Pulidora metalográfica

3.8.2.1. Abrasivos para el pulido metalográfico

Físicamente, un abrasivo metalográfico ideal debe de poseer una dureza relativamente alta; la forma externa de las partículas debe ser tal que presenten numerosas y agudas aristas y vértices cortantes; las partículas, si se rompen durante su uso, deben hacerlo en forma de que se produzcan nuevas aristas y vértices cortantes; por último, la naturaleza del abrasivo debe de ser adecuada para permitir una buena clasificación de las partículas por tamaños mediante levigación, después de que se haya realizado una buena pulverización.

3.8.2.2. Polvo de diamante

El abrasivo que más se aproxima al ideal es el polvo de diamante no adulterado y bien clasificado. Se ha empleado mucho en el pasado para preparar probetas de aleaciones muy duras, tales como carburos sinterizados

de wolframio o boro y recientemente se ha extendido su uso, con gran éxito, para el pulido de las aleaciones y metales más comunes.

3.8.2.3. Alúndum

Para el pulido intermedio o preliminar de las probetas metalográficas, en aquellos casos en que tal operación se realiza, se emplea como abrasivo el Alúndum (óxido de aluminio fundido) y, a veces, carborundo (carburo de silicio) o carburo de boro, todos en un grado de finura de 500 a 600 mallas. Se emplean en forma de suspensión acuosa, que se añade al paño que recubre al disco de la pulidora.

3.8.2.4. Oxido de magnesio

Es el abrasivo que suele recomendarse para el pulido final de los metales blandos, tales como el aluminio, magnesio y otros, o para sustituir a la alúmina en el pulido de las fundiciones y otros materiales relativamente duros.

La técnica adecuada para el empleo del óxido de magnesio, en el pulido final, consiste en poner una pequeña cantidad de polvo fresco y seco sobre el paño de pulir, colocado en el disco de la pulidora, añadir agua destilada en cantidad suficiente para formar una pasta clara, y luego trabajar esta pasta con la yema de los dedos, extendiéndola y embebiéndola en las fibras del paño. Después de esta carga, y durante el pulido posterior, se mantiene húmedo el paño por adición de agua destilada.

3.8.2.5. Alúmina

La alúmina (óxido de aluminio) es, probablemente, el abrasivo más satisfactorio y universal desde el punto de vista metalográfico. El comercio lo proporciona en forma de pastas o suspensiones acuosas.

La alúmina existe en tres formas cristalográficas distintas: alfa, beta y gamma. De ellas, la alfa y la gamma son las más empleadas como abrasivos.

Algunos tipos de polvo seco de alúmina, aunque se adquieren como levigados, es preciso volver a levigarlos para obtener la debida finura y uniformidad de las partículas. La levigación consiste, sencillamente, en suspender una cantidad pequeña de alúmina en agua limpia, empleando un vaso alto adecuado. Después de agitar bien se deja sedimentar de 1 a 10 minutos, con lo que se separan las partículas gruesas, luego se sifona el líquido que sobrenada, que constituye una suspensión del abrasivo fino. El sedimento se pudo volver a levigar, para obtener suspensiones de alúmina ligeramente más gruesas, o se desprecias

Una alúmina ideal para el pulido metalográfico se puede preparar de la siguiente manera: se parte de hidróxido de aluminio, que se convierte en alúmina calentando, durante 2 horas y a una temperatura de 925 a 1100° C, una capa de polvo de unos

50 mm de altura y no apisonada, sino suelta. Después se deja enfriar hasta la temperatura ordinaria, y el polvo obtenido se leviga en porciones de 100 a 150 g, que se suspenden en 1000 cc de agua, preferiblemente destilada. El

tiempo de levigación necesario para obtener una suspensión muy fina es de unos 10 min; este tiempo puede incrementarse a 15 o 20 min, si se desea una suspensión de partículas excepcionalmente finas, tales como las requeridas para el pulido de metales blandos como el aluminio, plomo, estaño, etc.

3.8.2.6. Otros abrasivos

Además de los abrasivos citados anteriormente, también el óxido de cromo y el óxido de hierro (rojo de joyeros) se han empleado con éxito en el pulido metalográfico. El rojo de joyeros, sin embargo, tiene propensión a hacer fluir el metal superficial, y aunque proporciona una superficie extraordinariamente pulimentada, tal superficie no es la necesaria y característica del pulido metalográfico.

3.8.3 Paños para pulir

En general, la textura superficial de los paños de pulir varía desde la correspondiente a los que no tienen pelo, como la seda natural y el tejido empleado para cubrir las alas de aeroplanos, hasta aquellos con pelo relativamente largo, como el terciopelo y la pana, que son de aplicación muy general. En el caso intermedio se encuentran los paños de mesa de billar, los paños de lana de distintas finuras y las lonas de diferentes pesos, (Figura 3.9)



Figura.3.9 Paños para pulido y otros consumibles

Los paños de pulir de mejor calidad no suelen requerir un tratamiento preliminar antes de su empleo. Sin embargo, los materiales más baratos deben hervirse en agua, para ablandar las fibras duras existentes, y lavarse con tintura de jabón verde, para eliminar las materias extrañas que pudiera contener.

Cuando un paño no va a utilizarse durante algún tiempo, se le quita del disco de la pulidora, se le enjabona y se le lava cuidadosamente con agua corriente. Después se le puede secar o, mejor, se le guarda sumergido en agua en un vaso. El lavado elimina prácticamente todos los detritos adheridos al paño, y el guardarlo en húmedo evita que los residuos de abrasivo que pudieran quedar formen tortas sobre él.

3.8.3. Pulido final

Esta operación tiene por finalidad eliminar las rayas producidas en el pulido preliminar y dar lugar, por último, a una superficie pulida uniformemente y libre de rayas. Según el metal o aleación que se pule, se emplea uno de los

abrasivos citados anteriormente—alúmina levigada, óxido de magnesio, óxido crómico—. Para la mayoría de las probetas metalográficas, la alúmina levigada da un resultado magnífico y se reconoce por todos como el abrasivo de empleo más universal en el pulido final.

Durante el pulido se aplica a la probeta una presión moderada y se la mueve continuamente del centro a la periferia del disco. Eventualmente, y en particular al final de la operación, se gira la probeta en sentido contrario al de la rotación del disco. Esta operación modifica continuamente la dirección del pulido y evita la formación de colas de cometa. Tales formaciones son inevitables cuando se pule en una sola dirección, porque se arrancan más o menos las inclusiones, se abrasiona el metal adyacente y aparecen picaduras y huecos dejados por dichas inclusiones.

Para evitar la distorsión del metal, se debe suspender el pulido fino en cuanto las rayas ya no son observables a 100 aumentos, no apareciendo tampoco colas de cometa. Si persisten las rayas finas, se puede continuar el pulido final; es, sin embargo, más probable que se obtengan resultados mejores repitiendo el pulido preliminar antes de terminar el pulido final.

La probeta pulida puede atacarse inmediatamente después o se puede guardar para usarla más tarde y examinarla sin ataque. En cualquier caso, la superficie de la probeta debe protegerse de la oxidación y otros efectos perjudiciales atmosféricos.

3.9 PULIDO ELECTROLÍTICO

El pulido electrolítico disminuye muchas de las dificultades encontradas en el pulido mecánico. Puesto que éste método de pulido evita la formación de capas distorsionadas del metal, en la superficie desbastada de la probeta, es ideal para la preparación de muchos metales blandos, aleaciones monofásicas y aleaciones que endurecen fácilmente por deformación, tales como los aceros inoxidable austeníticos. La principal desventaja del pulido electrolítico es la destrucción total o parcial de las inclusiones no metálicas por reacciones químicas con el electrolito. Otras desventajas son el manchado de las probetas montadas en plásticos, como consecuencia del ataque de éstos por algunos electrolitos y la obtención de superficies onduladas.

3.9.1 Fundamentos y aparatos

Los detalles relativos al pulido electrolítico no están completamente aclarados en la actualidad. El mecanismo general, sin embargo, parece asociado a la disolución anódica. Las aristas salientes y las protuberancias de la probeta desbastada se eliminan por disolución selectiva, mientras que los valles existentes entre los salientes quedan protegidos de la disolución por los productos de reacción formados o, más probablemente, porque en ellos la velocidad de disolución es mucho menor.

En la celda electrolítica la probeta desbastada sirve de ánodo, y como cátodo se emplea un metal adecuado; a través del electrolito se hace

pasar una corriente continua, que es transportada de ánodo a cátodo por los iones del metal de la probeta que se pule.

El factor más importante para el éxito del pulido electrolítico es la relación entre densidad de corriente y voltaje, para cada electrolito y disposición general de la celda electrolítica.

El pulido electrolítico es relativamente sencillo y requiere muy poca experiencia por parte del laborante.

La elección del electrolito depende de la composición y características estructurales (número y clase de fases presentes) de la probeta. Aunque el pulido electrolítico no produce distorsión del metal superficial, a veces se observa esta distorsión en las probetas pulidas electrolíticamente.

CAPITULO IV

ATAQUE QUÍMICO DE MUESTRAS DE ACERO Y USO METALOGRAFIA CUANTITATIVA

4.1 FUNDAMENTOS

El propósito del ataque químico es hacer visibles las características estructurales del metal o aleación. El proceso debe ser tal que queden claramente diferenciadas las partes de la micro estructura. Esto se logra mediante un reactivo apropiado que somete a la superficie pulida a una acción química. Los reactivos que se utilizan consisten en ácidos orgánicos o inorgánicos y álcalis, disueltos en alcohol, agua u otros solventes.

Si el tiempo de ataque es demasiado corto, la muestra quedará subatacada y los límites de grano y otras configuraciones se verán desvanecidos e indistintos cuando se observen en el microscopio. Si el tiempo de ataque es demasiado largo, la muestra se sobre atacará y quedará muy oscura,

mostrando colores no usuales. El tiempo de ataque debe controlarse muy cuidadosamente.

La acción del ataque se detiene al colocar la muestra bajo una corriente de agua. Limpiar la muestra con alcohol y utilizar una secadora de pelo para terminar de secarla. Cuidar de no frotar la muestra pulida y atacada con alguna tela o con los dedos, porque esto altera la condición superficial del metal.

El ataque químico permite poner en evidencia la estructura del metal o aleación. Existen diversos métodos de ataque, pero el más utilizado es el ataque químico. El ataque puede hacerse sumergiendo la muestra, con la cara pulida hacia arriba, en un reactivo adecuado, o pasar sobre la cara pulida un algodón embebido en dicho reactivo. Luego se lava la probeta con agua, se enjuaga con alcohol o éter y se seca en corriente de aire. El fundamento se basa en que el constituyente metalográfico de mayor velocidad de reacción se ataca más rápido y se verá más oscuro al microscopio, y el menos atacable permanecerá más brillante, reflejará más luz y se verá más brillante en el microscopio.

Por otro lado, en los metales con un solo constituyente metalográfico, los límites de grano están sujetos a ataques selectivos, puesto que representan zonas de imperfección cristalina e impurezas, que aceleran el ataque local. Además los granos con orientaciones distintas son atacados con diferente intensidad, dado que esta diferencia en la orientación provoca

velocidades de ataque diferentes. Observar Figura 4.1. (Se observa como varía el aspecto superficial de cada uno de los granos.)

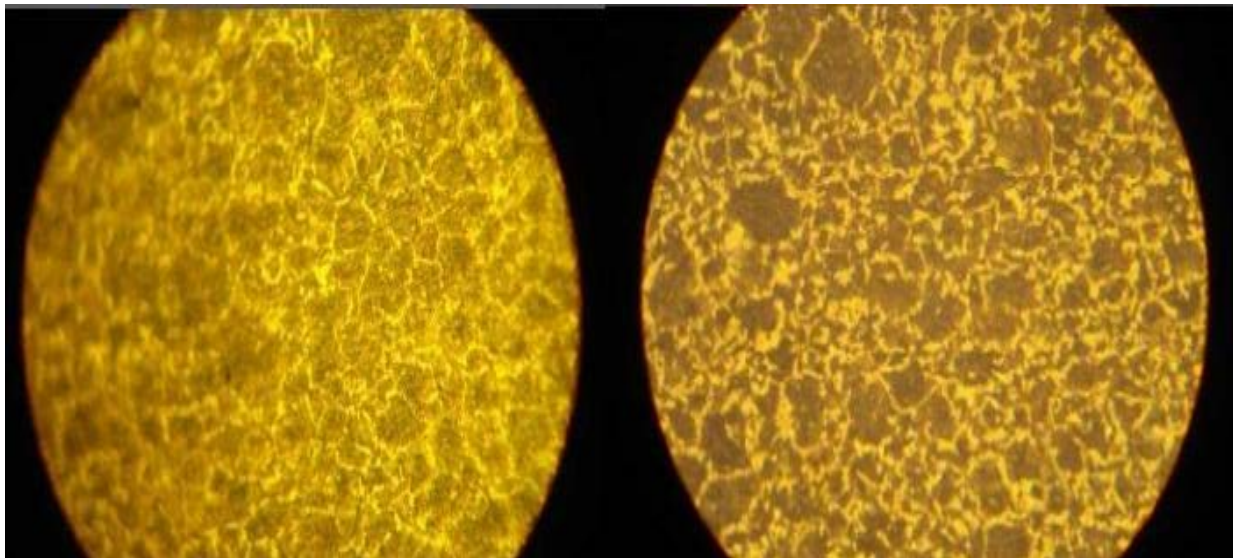


Figura 4.1. Aspectos generales del ataque químico en aceros

Se debe evitar el sobreataque, dado que la superficie se puede manchar y tapar la estructura o producirse manchas de corrosión.

Antes del ataque solo se pueden observar las ralladuras. Después del ataque y bajo un correcto adecuado tratamiento del material y pasando por el microscópico óptico ya se pueden ver las estructuras perlita, ferrita y cementita.

Un reactivo común, utilizado para atacar hierros y aceros al carbono en general, es el nital, que consiste en 5% de ácido nítrico concentrado en alcohol etílico (en 100 cm^3 de alcohol etílico 95% agregar 5 cm^3 de HNO_3

concentrado). Para su aplicación, el nital se vierte en un plato y la muestra (lavada y secada previamente) se frota con un algodón impregnado en nital. Por lo común es adecuado de 3 a 5 segundos para que el ataque químico sea adecuado. El nital oscurece la perlita y pone de manifiesto los bordes de la ferrita. Ferrita y cementita blancos y perlita más oscura (laminas claras y oscuras semejante a una impresión digital). Inmediatamente después se lava la muestra con elevada agua corriente, se enjuaga con alcohol y se seca mediante un golpe de aire.

Otro método de ataque muy utilizado en aleaciones no ferrosas y que actualmente se está introduciendo en el campo de las ferrosas, es el ataque electrolítico. Se hace generalmente a continuación del pulido electrolítico pero con un voltaje mucho menor. La diferencia con el pulido es que la disolución anódica es indiferenciada y ahora es selectiva. Todo el material distorsionado, resultante de los varios pasos de la preparación, debe ser completamente removido de la superficie antes de observar la muestra bajo el microscopio.

El ataque se realiza sumergiendo la muestra metálica pulida en una solución ácida o básica débil que ataca a la superficie a una velocidad que varía con la orientación cristalina de la misma. Como los cristales de un metal tienen usualmente distintas orientaciones, los cristales adyacentes se disuelven por la solución de ataque a diferentes profundidades, produciendo el efecto de altiplano. Después del ataque las interacciones de los límites de grano

atacados en la superficie, quedan marcados por una red de escarpaduras poco profundas.

Estas superficies, casi verticales, no reflejan la luz en las lentes objetivos de un microscopio en la misma forma que las superficies horizontales y formas de los cristales que quedan entre ellos, y como resultado, se observará la posición de los límites de los cristales. Para la determinación del reactivo se tiene en consideración al material y el objetivo buscado por el ataque. Existen las NORMAS ASTM E 304 (macroataque) y la E 407 (microataque).

En el ataque químico de los metales elementales puros, se aprovecha la mayor reaccionabilidad de los límites de grano y la distinta reaccionabilidad de los granos según el plano de corte. En las aleaciones compuestas de dos o más fases, el ataque es muy distinto, según los componentes de que se trata, debido a la diferente composición química de las fases. Los reactivos para poner de manifiesto los componentes son varios y dependen de la naturaleza del metal y de la estructura que se desea observar. Para la micrografía es de una gran importancia la profundidad del ataque o grado de contraste producido en la estructura.

Se ha de determinar bien el tiempo de ataque de un reactivo pues dado que la fase que se disuelve se ataca con velocidades diferentes en direcciones cristalográficas distintas, la acción se ha de suspender cuando se ha producido una rugosidad superficial tal que la luz del microscopio se disperse en vez de volver por reflexión a las lentes y queden gradualmente oscurecidos los granos según su orientación, sin excederse en el ataque. En los latones

alfa es donde aparece la diferencia mayor en el oscurecimiento, debido a la orientación cristalográfica.

Para descubrir las estructuras generales de los aceros, es muy conveniente la disolución de ácido nítrico concentrado al 2% en alcohol metílico absoluto (nital) que pone de manifiesto, preferentemente, los bordes de grano. También se emplea con la misma denominación de nital la disolución de ácido nítrico concentrado en alcohol etílico (2%). La acción del ácido nítrico que forma una capa de óxido, que es soluble en el ácido. Si la disolución de esta capa de óxido es más rápida que su formación, el acero queda incoloro, pero si ocurre lo contrario, sobre los diferentes granos cristalinos se forman con diferente velocidad, capas de óxido, que por acción continuada del ácido se hacen cada vez más intensas, y se observa una coloración desde el amarillo claro al pardo oscuro. La velocidad de ataque del ácido nítrico de una concentración dada depende de la naturaleza del disolvente y de la conductividad eléctrica de la solución.

La solución alcohólica de ácido nítrico al 5%, es conveniente para los casos siguientes:

1. Revelar los límites de grano en los aceros
2. Aumentar el contraste entre la perlita y la ferrita o la cementita.
3. Atacar los aceros especiales al cromo, con poco contenido de éste, ya que se atacan lentamente con ácido pícrico

4. Revelar los límites de grano de la ferrita, en estructuras que consisten en ferrita y martensita.

Por el contrario, se utiliza solución alcohólica de ácido pícrico al 4%, en los siguientes casos:

1. Para conseguir la imagen con el máximo detalle de la perlita, martensita y martensita revenida.
2. Para diferenciar la ferrita, la martensita y los carburos masivos, por el color que toman los últimos

El objetivo de la mayoría de las investigaciones metalográficas, es determinar las características estructurales verdaderas de la probeta, por esto es necesario que los diferentes constituyentes estructurales sean delineados con precisión y claridad. Esto se logra sometiendo la probeta a la acción química de un reactivo apropiado, en unas condiciones cuidadosamente controladas.

En las aleaciones compuestas de varias fases, los constituyentes se hacen visibles por el ataque diferencial o por el manchado de uno o varios de dichos constituyentes. Como consecuencia, principalmente de las diferencias de composición química, traen consigo diferencias en las velocidades de disolución.

4.2 FORMACIÓN DE METAL DISTORSIONADO

La producción de esta distorsión es la consecuencia natural del desbaste y el pulido, y es inevitable, en mayor grado o en menor grado, por mucho cuidado que se ponga en las operaciones. El contacto íntimo entre las superficies de la probeta y las partículas finamente divididas del abrasivo, empleadas en las operaciones de desbaste y pulido, y los esfuerzos mecánicos y efectos térmicos inducidos, son los suficientemente grandes para hacer fluir el metal más superficial.

La mayoría de los estudios realizados mediante difracción electrónica, sobre las superficies metalográficas, demuestra que esta fluencia destruye completamente el estado cristalino superficial, como consecuencia de la alteración de la periodicidad atómica de la red. Esta superficie, completamente perturbada, cuya profundidad es del orden de algunas distancias interatómicas, posee una energía libre más elevada que el metal solo plásticamente deformado que queda bajo ella y, por esta razón, se elimina fácil y efectivamente por disolución química durante el ataque. Por ello, el aspecto de la estructura metalográfica, observada después del ataque, no está influenciado por la presencia de esta superficie totalmente desorganizada.

La cantidad de metal distorsionado producido por el desbaste y el pulido depende de varias circunstancias y las más importantes son: la composición química y estructura de la probeta, los métodos empleados para el desbaste y el pulido, el cuidado puesto en la preparación y la naturaleza de los abrasivos empleados en el pulido.

4.3 ELIMINACIÓN DE METAL DISTORSIONADO

Un solo ataque no es capaz de eliminar todo el metal distorsionado, es necesario atacar y pulir alternativamente varias veces. Para la mayoría de los metales y las aleaciones el tiempo de ataque, en los intermedios, no debe superar al necesario en el ataque final; los pulidos deben hacerse con cuidado, empleando presiones ligeras para evitar la formación de nuevas cantidades de metal distorsionado.

4.4 REACTIVOS DE ATAQUE

En general, los reactivos adecuados para el ataque metalográfico se componen de ácidos orgánicos o disueltos en disolventes apropiados como agua, alcohol, glicerina, glicol o mezclas de varios de disolventes. La actividad y comportamiento general de los diferentes reactivos, está relacionado con las características siguientes: concentración de iones de hidrógeno o iones hidroxilo, capacidad del reactivo para manchar preferentemente uno o más de los constituyentes estructurales.

Para el ataque del metal o aleación sea perfecta y muestre claramente los detalles estructurales deseados, es necesario que la composición del reactivo empleado corresponda exactamente a la composición de la probeta y las distintas fases que la constituyen.

Un reactivo compuesto de hidróxido amónico y peróxido de hidrógeno es ideal para atacar cobre y latón alfa, pero es completamente inadecuado para atacar al hierro y acero u otras aleaciones férreas. El nital y el picrato sódico hirviente

se recomiendan para el ataque de los aceros. El picrato sódico no es un reactivo específico para distinguir entre ferrita y carburo de hierro. La tabla 3.1 muestra algunos reactivos.

Tabla 3. 1 Reactivos de ataque

REACTIVOS	COMPOSICION	USOS	OBSERVACIONES
Ácido nítrico(nital)	<p>Ácido nítrico blanco 1.5 ml</p> <p>Alcohol metílico o etílico 98% o absoluto</p> <p>Acido amílico 100ml</p>	En aceros al carbón: a) para oscurecer perlita y dar contraste entre colonias de perlita, b) para revelar fronteras de perlita, c) para diferenciar la ferrita de la martensita	La rapidez de ataque aumenta; la selectividad disminuye y se incrementan los porcentajes de HNO ₂ . El reactivo 2 (ácido pícrico) generalmente es superior. El tiempo de ataque es de unos cuantos segundos a un minuto.
Ácido pícrico (picral)	<p>Ácido pícrico 4g</p> <p>Etil o alcohol de metilo (95 % absoluto) 100</p>	Para todos los grados de aceros al carbón recocidos, normalizados, templados y revenidos, esferoidizados, austenizados. Para todos los aceros de baja aleación atacados por este reactivo.	Ocasionalmente útiles para soluciones más diluidas. No revela las fronteras de grano de ferrita tan fácilmente como el nital. Tiempo de ataque en unos cuantos segundos a un minuto o más.
Cloruro férrico y ácido hidroclórico	<p>Cloruro férrico 5g</p> <p>Ácido hidroclórico 5 – 0 ml</p> <p>Agua 100ml</p>	Aceros austeníticos al níquel y aceros inoxidables.	El contenido de peróxido varía directamente con el contenido de cobre de la aleación que será atacada. Inmersión o frotamiento por casi un minuto. Usar peróxido fresco para buenos resultados.

Hidróxido de amonio y Peróxido de hidrógeno	Hidróxido de amonio 5 partes Agua 5 partes Peróxido de hidrógeno 2 a 5 partes	Generalmente empleado para cobre y muchas de sus aleaciones.	
Persulfato de Amonio	Persulfato de amonio 10g Agua 90 ml	Cobre, latón, bronce, plata, níquel, bronce alumínico.	Utilizarlo frío o hirviendo; inmersión

4.5. MECANISMO DE ATAQUE

Cuando se aplica un reactivo a las superficies pulidas de una probeta, los detalles estructurales se manifiestan, en parte, por una destrucción selectiva de la superficie. Se debe a que las diferentes fases, en una aleación polifásica, o los planos diferentemente orientados de cada grano de un metal puro, forman la superficie metalográfica de la probeta y tienen distintas velocidades inherentes de disolución. A este efecto se suma, para muchos reactivos, la propiedad de que manchan o colorean de diferente manera a las distintas fases presentes.

4.5.1. Aleaciones polifásicas

El mecanismo del ataque de las aleaciones polifásicas es, esencialmente de naturaleza electroquímica, consecuencia de las diferencias de potencial que se producen en los diferentes constituyentes, cuando se pone la probeta en contacto con el reactivo.

La diferencia de potencial entre los constituyentes anódicos y catódicos es, en general lo suficientemente grande para que la fase más electropositiva se disuelva con relativa rapidez en los reactivos ordinarios y es preciso un control cuidadoso para evitar el sobre ataque. Por causa de esta diferencia de potencial, las aleaciones polifásicas se atacan más rápidamente que las aleaciones monofásicas o los metales puros.

Como consecuencia de la disolución preferente de la fase anódica durante el ataque, tales constituyentes, en las aleaciones polifásicas, quedan más

rugosos y más profundos, con relación al plano de la superficie pulida, por lo menos en la interface ánodo–cátodo, y aparecen, microscópicamente, como más oscuras. Deteniendo el ataque en el momento preciso se evitan las dificultades y se consigue un contraste óptimo entre las diferentes fases.

4.5.2. Aleaciones monofásicas y metales puros:

Como consecuencias de la existencia de una sola fase, es más difícil de explicar el fenómeno de ataque diferencial en términos de diferencias de potencial. En un metal puro o aleación monofásica, el ataque es el resultado de la diferente facilidad de disolución que presenta cada grano como consecuencia de su distinta orientación cristalográfica con relación a la superficie metalográfica pulida. La velocidad de disolución de un grano es diferente según su distinto plano cristalográfico y por ello, el ataque produce en cada uno de los granos unas recetas bien definidas, con orientación diferente a la que presentan las originadas en los granos vecinos.

4.5.3. Diferencia de brillo entre los granos

Cuando incide sobre la probeta un haz iluminador, la dirección de la luz reflejada por cada grano depende del sistema de facetas que el ataque ha desarrollado sobre él. La observación microscópica, (en algunos casos a ojo desnudo, si los granos son suficientemente grandes) hace notar como más brillantes a los granos cuyas facetas están adecuadamente orientadas y como más oscuros a los orientación menos ventajosa.

4.6. MÉTODOS DE ATAQUE

La consideración preliminar más importante es la elección acertada del reactivo adecuado, de entre los más recomendados para una aleación o metal dados. Hacer una selección requiere de juzgar y conocer el comportamiento de los distintos reactivos, cuando se emplean en las condiciones recomendadas.

Cada reactivo ha de emplearse para el uso específico a que está destinado y exactamente de acuerdo a las instrucciones adecuadas para su empleo. Los reactivos de ataque se aplican, en general, por inmersión de la probeta en el reactivo o poniendo en contacto con la superficie de la misma un algodón impregnado.

Es preciso que la superficie de la probeta este limpia, para asegurarse de que el reactivo la mojará regular y uniformemente. Para ello se la lava primero a fondo con agua corriente caliente, se frota luego, con cuidado, utilizando un algodón húmedo, se vuelve a lavar con alcohol etílico y por fin se seca al chorro de aire caliente.

Cuando se realiza el ataque por inmersión, se suspende la probeta, con su superficie pulida hacia abajo, dentro del reactivo, sujetándola con los dedos o con unas pinzas. Para desalojar burbujas de aire retenidas en la superficie y asegurar que bajo esa superficie siempre existe reactivo no gastado, se agita moderadamente la probeta, teniendo cuidado de que la superficie pulida no se raye.

Inmediatamente después de la inmersión, se puede observar que la superficie pulida se pone más o menos mate. Esto indica que el ataque progresa y, con alguna práctica, la observación del aspecto que va tomando dicha superficie indica cuando debe suspenderse la operación.

Cuando el tiempo transcurrido en el ataque se considera suficiente, se retira la probeta del reactivo, y rápidamente se le introduce en un chorro de agua caliente. De esta manera se detiene inmediatamente la acción del reactivo y se elimina toda traza del mismo en la superficie de la probeta. Seguidamente se lava con alcohol etílico, para quitar las gotitas de agua y, después, se seca en un chorro de aire caliente, quedando lista para su examen microscópico. Puede ser necesario volver a atacar si las imágenes no son nítidas.

4.6.1. Tiempo de ataque

El tiempo de ataque es factor que sigue directamente en importancia a la elección adecuada del reactivo. El aspecto visual de una estructura atacada o la calidad de una fotomicrografía de ella, dependen en gran manera de la precisión con los detalles más delicados que hayan sido puestos de manifiesto por el ataque, y ello a su vez depende fundamentalmente del tiempo de ataque.

Según el metal atacado y el reactivo empleado, los tiempos de ataque pueden oscilar entre pocos segundos y 30 o más minutos.

Muchos reactivos tienen una composición que asegura baja actividad y largos tiempos de ataque, con el fin de que se pueden controlar bien esos tiempos.

El sobreataque es tan inadecuado como el ataque escaso, el sobreataque puede ocultar muchos detalles finos y ensanchar los límites de grano logrando una imagen no verdadera.

Cuando la probeta esta sobre atacada siempre es necesario volver a pulirla sobre el disco final y, luego, volver a repetir el ataque durante un tiempo más cortó.

4.7 ATAQUE ELECTROLÍTICO

Es de particular utilidad para poner de manifiesto la estructura en materiales tales como las aleaciones para termopares, metales fuertemente deformados en frío, aleaciones resistentes a la corrosión o al calor y aleaciones que presentan pasividad superficial durante los ataques usuales.

El ataque electrolítico consiste en hacer pasar un corriente continua, que varía desde una fracción de amperio a varios amperios de intensidad, a través de una celda electrolítica, que contiene el electrolito apropiado y en la que la probeta es el ánodo, siendo el cátodo de algún material insoluble como platino o grafito.

La elección de electrolito depende del metal o aleación que ha de atacarse y de los constituyentes estructurales.

4.8. METALOGRAFIA CUANTITATIVA

Entre los objetivos más importantes destacan:

- Aplicar los métodos para determinar los porcentajes de las fases en las microestructuras analizadas y la medición del tamaño de grano.
- Conocer el concepto de número ASTM de tamaño de grano.
- Medir el tamaño de grano de una muestra metálica a través de los diversos métodos cuantitativos
- Interpretar los resultados obtenidos y saber escoger el método más adecuado para la determinación de los valores señalados.

Una de las funciones más importantes de la ingeniería es la cuantificación de los fenómenos de la naturaleza, de manera tal que puedan ser manipulados a través del uso de las matemáticas. La determinación del tamaño de grano de materiales poli cristalinos es una de las más importantes mediciones estereológicas que pueden efectuarse, dada la influencia tan importante del tamaño de grano en el comportamiento y las propiedades de los metales. Existen varios métodos para determinarlo, entre los que se cuentan: El método planimétrico de Jeffries y el método del intercepto de Heyn. También existen patrones estándar que pueden ser colocados en el microscopio de manera que pueda determinarse, directamente sobre la muestra, el número ASTM de tamaño de grano.

4.8.1. Métodos

En metalografía a menudo es necesario establecer cuantitativamente valores diferentes tales como:

1. El número de partículas o poros por unidad de volumen (las partículas se usan aquí en el sentido de partículas sueltas o unidades separadas de un constituyente en la matriz; granos y tamaños de grano se refieren a los cristales de la matriz y su tamaño).
2. El tamaño de las figuras presentes en la probeta.
3. El tamaño del grano del material.
4. La fracción de volumen de las fases presentes en una probeta.

Generalmente, los cálculos de la fracción de volumen a partir de las mediciones cuantitativas sobre una superficie de un material opaco solamente puede, proporcionar valores aproximados. No obstante, este método es empleado casi sin excepción.

4.8.1.1. Fracción de volumen

Para efectuar esta prueba se emplea una rejilla transparente de plástico con un número de puntos sistemáticamente (usualmente se emplean cruzados, donde el "punto" es la intersección de los brazos) espaciados, típicamente de 9, 16, 25, 49, 64 y 100, que se coloca sobre una micrografía y en una pantalla de proyección o insertada como una retícula en

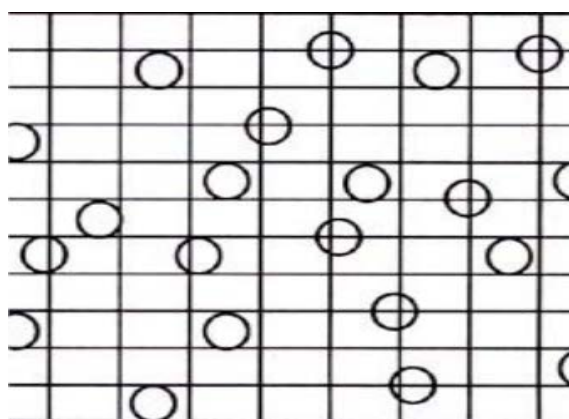
el ocular. Se cuenta el número de puntos que yacen a lo largo de la fase o constituyente de interés y se divide por el número total de puntos de la rejilla.

El número de puntos que yacen sobre una frontera, límite o contorno se cuenta como medio punto. Este procedimiento se repite sin predisposición en un número de campos seleccionados, es decir, sin mirar la pantalla... La fracción punto PP está dada por:

$$PP = Pa / PT \dots\dots (1)$$

Donde Pa es el número de puntos de la rejilla que yacen o descansan dentro de la partícula, figura o forma de interés, más la mitad del número de puntos de la rejilla que descansan en los límites, bordes o frontera de la partícula y PT es el número total de puntos de la rejilla. Los estudios han mostrado que la fracción punto es igual a la fracción área AA y a la fracción volumen VV de las partículas de la segunda fase.

$$PP = AA = VV \dots\dots\dots (2)$$



Área total = $678,6\text{mm}^2$

Fracción del área = $678,6/12100 = 0,056 = 5,6\%$

Se extiende un modelo de rejilla cuadrado con 100 intersecciones sobre este campo; cuatro intersecciones están dentro de las partículas y 4 en la interfase.

4.8.1.2. Métodos de comparación

Como una regla, el método más rápido para investigaciones de rutina es comparar la superficie de la probeta o micrográficas de ella con series de cartas estándar.

Para establecer el tamaño del grano las cartas estándares han sido publicadas por ASTM (American Society for Testing and Materials); ISO (International Organization for Standardization) y la Swedish Standards Institution (SIS Standars). Para la determinación de inclusiones, los estándares han sido publicados por la Swedish Ironmaster's Association.

4.8.1.3. Métodos planímetros

El más antiguo procedimiento para medir el tamaño de grano de los metales es el método planimétrico. Se cuenta el número de granos que están completamente dentro del círculo n_1 y el número de granos que interceptan el círculo n_2 . Para un conteo exacto los granos deben ser marcados cuando son contados lo que hace lento este método. La Figura ilustra el método planimétrico.

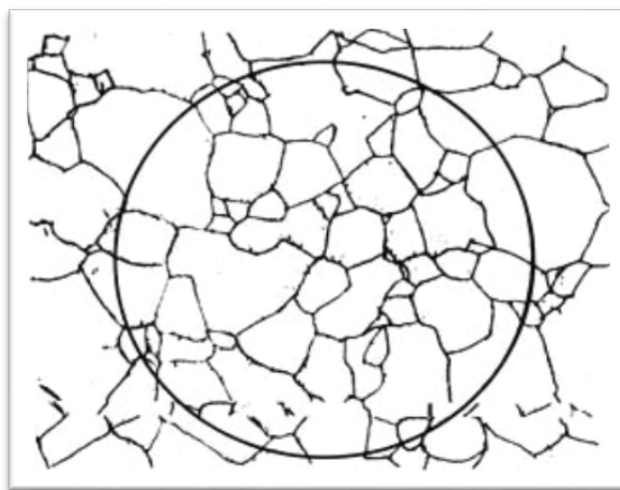


Figura 1. Ejemplo de la medición del tamaño de grano por el método planimétrico (Jeffries). Micrografía de un acero al manganeso austenítico recocido a 1040°C, envejecido a 620°C para decorar los contornos de grano con perlita fina. El círculo tiene un diámetro de 79.8 mm para un área de 5000 mm², se hace un conteo para determinar el número de granos completamente dentro del círculo y el número que interceptan al círculo. El multiplicador Jeffries para 100 es 2 a IX es (2) $(44 + 25/2) = 113$, el tamaño de grano ASTM es $(3,322 \log 113) - 2.95$, 3.87 redondeando a 3.9 a 4).

4.8.1.3. Métodos de intercepción

El método de intercepción es más rápido que el método planimétrico debido a que la microfotografía o patrón no requiere marcas para obtener un conteo exacto. La ASTM E112 recomienda el uso de un patrón consistente en 3 círculos concéntricos con una longitud total de la línea de 500 mm (patrón disponible de la ASTM).

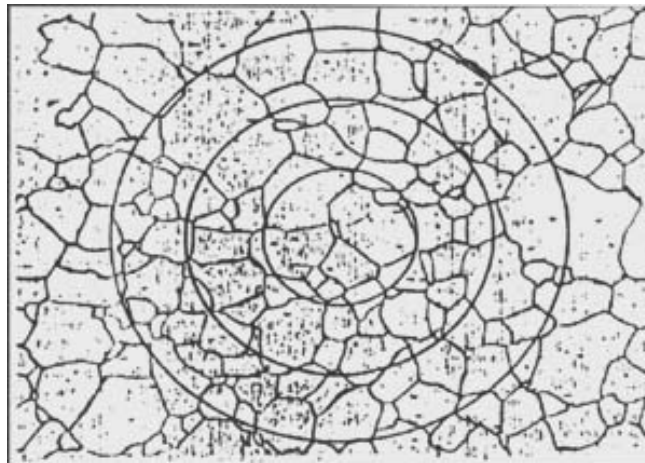


Figura 2. Ejemplo de la medición de tamaño de grano, usando el método de intercepción de Hay. Los 3 círculos concéntricos tienen diámetros de 79.5 x 47.8 y 31.8 mm para una línea de longitud total de 500 mm. La ampliación de esta micrografía es 500 X de aquí que la real es 1 mm. Un conteo del número de intercepciones de contornos de grano (límite de grano) (algunos no son bien delineados por el reactivo vital, problema común, especialmente si se usan dispositivos automatizados) revela 60 intercepciones de contornos de grano y 7 intercepciones de uniones triples. Luego: $P = 7 (1.5) + 60 = 70.5$ y $PL = 70.5/1 \text{ mm}$. Por consiguiente $L-3 = 1/PL = 0.0142 \text{ mm}$. El número de tamaño de grano ASTM puede ser calculado usando la ecuación (17); $G = (-6.6557 \log 0.0142) - 3,298 = 8.98$ alrededor de 9

El tamaño de grano de una fase particular en una estructura de 2 fases requiere la determinación de la fracción volumen de la fase de interés, es decir por el conteo de puntos. La fase menor (segunda fase) es de puntos contados y la fracción volumen de la fase mayor (fase matriz) se determina por

diferencia. A continuación se aplica sin predisposición una rejilla de prueba circular al micro estructura, se cuenta el número de granos de la fase de interés interceptada por la línea de prueba N_a . La longitud de intercepción media lineal de los granos alfa L-3a se determina por:

$$L-3\alpha = (VV) (L/M) / N_a \dots \dots \dots (3)$$

Donde L es la longitud de la línea y M es la amplificación. El tamaño de grano ASTM puede ser determinado de las tablas en ASTM E o por el uso de la ecuación (17) de la norma ASTM. El método se ilustra en la figura 3.

Las mediciones descritas en esta breve revisión y otras mediciones no discutidas pueden ser hechas con el uso de analizadores automáticos de imagen. Estos artefactos confían principalmente en el nivel gris de la imagen presentada en el monitor de la televisión para detectar las características deseadas. En algunos casos, la condición de complejas imágenes puede ser utilizada para ayudar a la separación. Sin embargo, algunas estructuras no pueden ser separadas completamente y para estas estructuras los dispositivos de trazado digital semiautomático pueden ser utilizados para mejorar la velocidad de medición



Figura 3. Ejemplo de la determinación de tamaño de grano en una aleación de 2 fases usando el conteo de puntos y el de intercepciones

CAPITULO V

OBSERVACIÓN METALOGRÁFICA

5.1. ANTECEDENTES

Con frecuencia se observa que los diagramas que se han estudiado por un solo método, y hasta por dos, presentan áreas erróneas: unos tienen demasiados campos y otros presentan deficiencia de éstos. Naturalmente, en el momento en que, por la experiencia, se conocen las fases presentes, entonces puede ser suficiente un solo método, tal como el microscópico, para el estudio de los sistemas metálicos.

5.2. MICROSCOPIOS METALÚRGICOS

En comparación con uno de tipo biológico, el microscopio metalúrgico difiere en la manera en que la muestra es iluminada. Como una muestra metalográfica es opaca a la luz, la misma debe ser iluminada por luz reflejada. Como se ve en la Figura 4.1, un haz de luz horizontal de alguna fuente de luz

es reflejado, por medio de un reflector de vidrio plano, hacia abajo a través del objetivo del microscopio sobre la superficie de la muestra. Un poco de esta luz incidente, reflejada desde la superficie de la muestra, se amplificará al pasar a través del sistema inferior de lentes, el objetivo, y continuará hacia arriba a través del reflector de vidrio plano; luego, una vez más lo amplificará el sistema superior de lentes, el ocular. El poder de ampliación inicial del objetivo y del ocular, está generalmente grabado en la base de la lente. Cuando se utiliza una combinación particular de objetivo y ocular y la longitud adecuada de tubo, la ampliación total es igual al producto de las ampliaciones del objetivo y del ocular, (Figura 4.2).

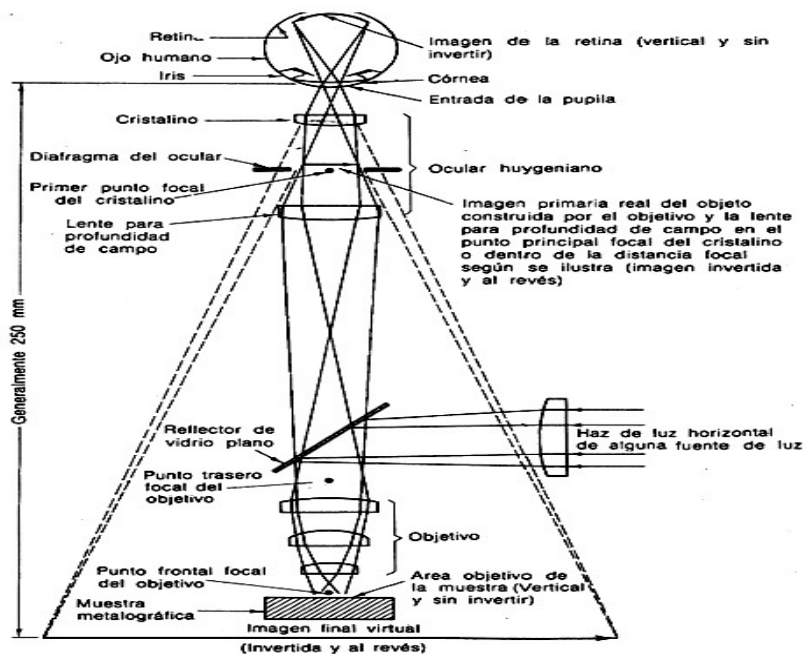


Figura 5.1. Ilustración del principio del microscopio metalúrgico compuesto y la traza de los rayos a través del sistema óptico desde el campo objetivo hasta la imagen final visual.

El mayor avance en el poder de resolución lo obtuvo el microscopio electrónico. En ciertas circunstancias, los electrones de alta velocidad se comportan como luz de longitud de onda muy corta. El haz de electrones tiene asociada una longitud de onda aproximadamente 100'000 veces menor que la longitud de onda de la luz visible, incrementando considerablemente el poder de resolución. La figura 4.2a, muestra un microscopio electrónico.

Aunque en principio el microscopio electrónico es similar al óptico, Figura 4.2b, su apariencia resulta muy diferente. Es mucho más grande, debido a los suministros de potencia altamente regulada necesarios para producir y controlar el haz de electrones. El sistema completo debe mantenerse a un alto vacío, ya que de otro modo el aire interferiría con el movimiento de los electrones.

Las lentes del microscopio electrónico, son los potentes campos magnéticos de las bobinas y la imagen es enfocada al cambiar la intensidad del campo de las bobinas, mientras éstas permanecen en una posición fija.

Como las muestras metalográficas son opacas a un haz de electrones, es necesario preparar, mediante técnicas especiales, una réplica delgada de la superficie a estudiar.

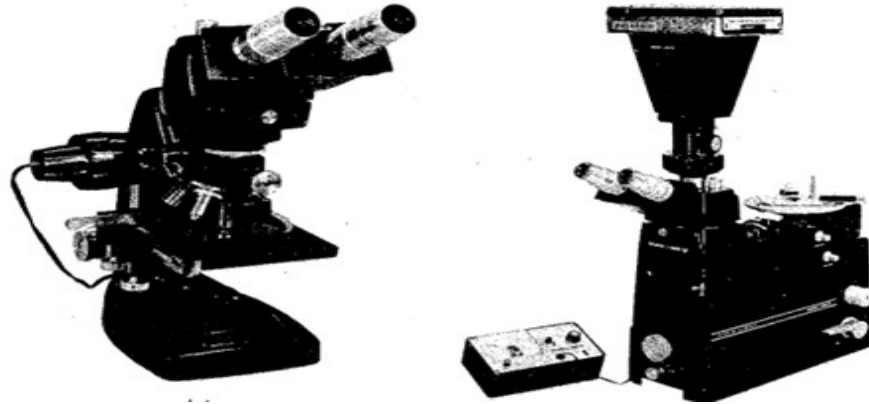


Figura 5.2. Microscopio metalúrgico;

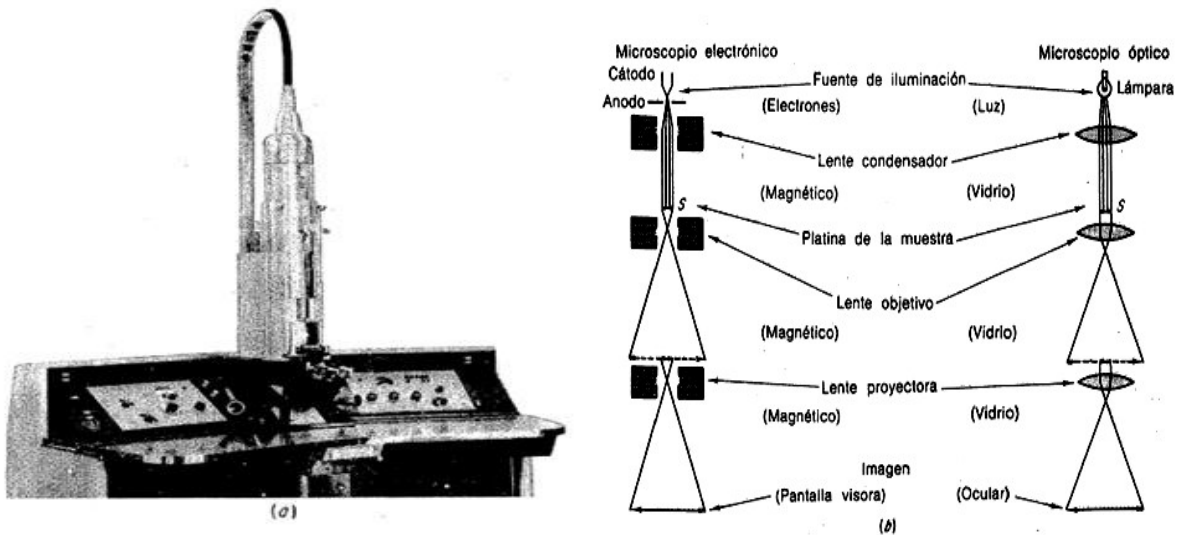


Figura 5.3. Microscopio electrónico. Similitudes entre el microscopio óptico y el electrónico

Además de los estudios especulativos propios, la metalografía tiene otra misión básica que llenar, consistentemente en ser instrumento de regulación,

control y verificación de los materiales y procesos metalúrgicos, pues los metales y aleaciones se aplican por sus útiles propiedades, que satisfacen las exigencias tecnológicas del mundo actual.

Estas propiedades, que hacen a los metales útiles, son función de su microestructura. Por este motivo interesa el estudio de la misma: el tamaño de grano, el tamaño, forma y distribución de las diversas fases e inclusiones, características todas íntimamente relacionadas con las propiedades mecánicas de los metales. El examen de la microestructura permite conocer los tratamientos, térmicos y mecánicos, a que ha estado sometido un metal y prever su probable comportamiento en determinadas condiciones.

El término metalografía se ha empleado por muchos en un sentido relativamente limitado, como sinónimo de microscopia de metales. Sin embargo, en rigor, en él deben incluirse todos los métodos de examen sobre la estructura de los metales, ya que constituye solamente una etapa del examen metalográfico completo de cualquier material. Metalográficamente, es asimismo esencial el estudio de las características intrínsecas de un metal o aleación, en relación con sus propiedades físicas y mecánicas y sus efectos térmicos.

Gracias a la metalografía, han adquirido la enorme importancia industrial que tienen hoy los aceros ordinarios o especiales y los tipos de aleaciones ligeras y de cobre, pues, en general las propiedades físicas de una aleación están más íntimamente relacionadas con la estructura del material, que con la composición química. Para determinar las propiedades de un material

metálico, son factores de suprema importancia la naturaleza de los distintos micro constituyentes presentes, tamaño relativo y distribución, existencia de sustancias extrañas o inclusiones y los efectos estructurales del tratamiento térmico y mecánico, en unión de otros aspectos revelados por su examen y ensayo.

5.3. OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA

La metalografía consiste en el estudio de la constitución y la estructura de los metales y las aleaciones. La forma más sencilla de hacer dicho estudio es examinando las superficies metálicas a simple vista, pudiendo determinar de esta forma las características macroscópicas. Este examen se denomina macrográfico del cual se pueden obtener datos sobre los tratamientos mecánicos sufridos por el material (se puede determinar si el material fue trefilado, laminado, forjado, etc.) o comprobar la distribución de defectos (como grietas superficiales, rechupes, partes soldadas, etc.). La forma más sencilla de realizar el estudio, es examinando las superficies metálicas a simple vista, logrando determinar de esta forma las características macroscópicas. Así mismo, los exámenes macroscópicos se realizan generalmente sin preparación especial, pero a veces es necesaria una cuidadosa preparación de la superficie para poner de manifiesto las características macroscópicas.

En microscopía, se utilizan criterios para el tipo de corte a realizar (transversal o longitudinal) para extraer la muestra dependiendo el estudio a realizar, por ejemplo:

- ✓ Corte transversal: Naturaleza del material, homogeneidad, segregaciones, procesos de fabricación, y otros.
- ✓ Corte longitudinal: Proceso de fabricación de piezas, tipo y calidad de la soldadura y otros.

5.4 OBSERVACIÓN MICROSCÓPICA

Por otra parte, existe otro tipo de examen que es el examen micrográfico, que representa una técnica más avanzada y se basa en la amplificación de la superficie mediante instrumentos ópticos (microscopio) para observar las características estructurales microscópicas (microestructura). Este tipo de examen permite realizar el estudio o controlar el proceso térmico al que ha sido sometido un metal, debido a que los mismos colocan en evidencia la estructura o los cambios estructurales que sufren en dicho proceso. Como consecuencia de ello también es posible deducir las variaciones que experimentan sus propiedades mecánicas (dependiendo de los constituyentes metalográficos presentes en la estructura).

Los estudios ópticos microscópicos producen resultados que no solo son útiles a los investigadores, sino también a los ingenieros, (Figura 4.4). El examen de la microestructura es muy útil para determinar si un metal o aleación satisface las especificaciones en relación a trabajos mecánicos anteriores, tratamientos térmicos y composición general.



Figura: 5.4. Microscopio metalográfico de platina invertida.

La microestructura es un método para analizar las fallas metálicas y para controlar procesos industriales. Para un estudio de ella se necesita una preparación aún más cuidadosa de la superficie. No obstante el procedimiento de preparación de la superficie es básicamente el mismo para ambos ensayos metalográficos. Esta experiencia delinea una forma de preparar muestras pequeñas de acero blando, con el fin de realizar un examen metalográfico. Los pasos a seguir en el procedimiento de preparación son los mismos para todos los materiales, difiriendo solo las herramientas de corte y el grado de finura de los papeles de esmeril según la dureza del material. El reactivo de ataque a utilizar depende del tipo de aleación. Los ensayos micrográficos se realizan sobre muestras o probetas de los materiales que han de ser sometidos a estudio, se prepara una superficie que, luego de ser pulida

convenientemente, se ataca con reactivos químicos apropiados a la finalidad de la determinación a realizar.

Si el examen se ejecuta para analizar una fractura, la que se sospecha provocada por irregularidades en el material, las muestras deberán ser por lo menos dos, una de la propia fractura y otra de una zona intacta de la misma pieza, con el objeto de observar y comparar las modificaciones que ha sufrido la estructura y de las que se podrán deducir y contar con una mayor cantidad de datos, es necesario tener en cuenta, además, los tratamientos recibidos por la pieza en su fabricación, como forjado, laminado, recocido, temple, entre otros; pues en muchos casos (forjado y laminado) es benéfico contar con muestras en las distintas direcciones de sus fibras. Como se ha indicado, el estudio en si se hace sobre superficies convenientemente preparadas de dichas muestras o probetas.

Esta preparación consiste en llegar a un pulido casi perfecto, para lo cual se parte de un desbaste que podríamos llamar grueso, con el fin de aplanar la superficie, lo que se consigue con un ajuste a lima o con el auxilio de devastadoras mecánicas de diseño especial. Los reactivos químicos y sus finalidades son muy variadas, pero en principio se busca con ellos la revelación, por coloración o por corrosión, de los distintos componentes de una estructura metalográfica para poder diferenciarlos con facilidad, como por ejemplo los que se muestran en la Figura 4.5.

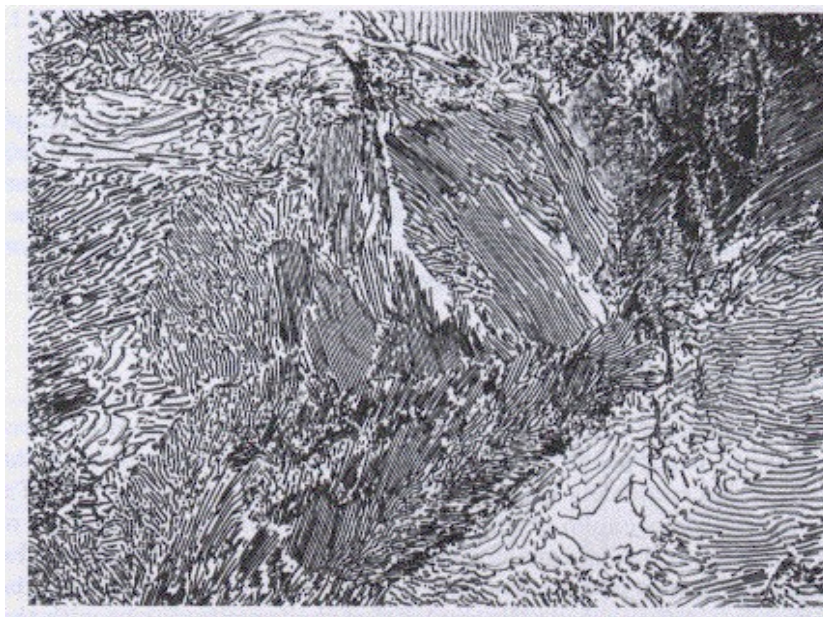


Figura 5.5. Perlita (Fe – 0.75% C) 500 X

Por lo general, los reactivos de ataque están constituidos por ácidos o álcalis diluidos en alcoholes, agua o glicerina y su elección se hará de acuerdo con la naturaleza química de la estructura a destacar en la muestra. Con tal fin, una vez pulida la superficie la limpieza se hará en agua caliente, frotándola con un algodón o tela suave para quitarle todo rastro de las operaciones anteriores que pueda presentar, concluyendo esta limpieza con alcohol etílico o solvente similar y secándola con un soplado de aire caliente. Las fotografías obtenidas de estos exámenes, genéricamente llamados "Microfotografías", se logran con la ayuda del microscopio metalográfico, cuyos principios ópticos y de observación no difieren mayormente de los comunes.

En este, con iluminación adecuada, se observa por reflexión (los rayos luminosos al incidir sobre el objeto se refleja hacia el ocular), la imagen de la superficie atacada, a través de un sistema de lentes con los que se amplifica

según lo que requiera la observación. Por otra parte, con la observación de las estructuras micrográficas y por comparación con microfotografías, es posible deducir el contenido aparente de carbono, finura y variedad de los componentes, clasificación de aceros o reconocer las inclusiones por defectos de fabricación (óxidos, silicatos, oxisulfuros, silicoaluminatos)

Con la ayuda del microscopio podemos realizar un ensayo micrográfico, con el cual es posible determinar el tamaño de grano, y el tamaño, forma y distribución de las distintas fases e inclusiones que tienen gran efecto sobre las propiedades mecánicas del material. La microestructura revelará el tratamiento mecánico y térmico del metal y podrá predecirse cómo se comportará mecánicamente.

Este tipo de microscopio es de uso común para el control de calidad y producción en los procesos industriales. Con ellos, es posible realizar mediciones en los componentes mecánicos y electrónicos, permite además efectuar el control de superficie y el análisis óptico de los metales. De acuerdo al propósito de uso, existen multitud de variedades dependiendo del tipo de objetivos, oculares, aumento máximo permitido, enfoque, etc. Este tipo de microscopio difiere de los biológicos en que el objeto a estudiar se ilumina con luz reflejada, ya que las muestras cristalográficas son opacas a la luz.

Su funcionamiento está basado en la reflexión de un haz de luz horizontal que proviene de la fuente, dicha reflexión se produce, por medio de un reflector de vidrio plano, hacia abajo, a través del objetivo del microscopio sobre la superficie de la muestra. Parte de esta luz incidente, reflejada desde la

superficie de la muestra se amplificará al pasar a través del sistema inferior de lentes, llegará al objetivo y continuará hacia arriba a través reflector de vidrio plano; después de nuevo se amplificará en el sistema superior de lentes (ocular).

El examen micrográfico, es una técnica más avanzada que el macrográfico y necesita de una preparación más especial y cuidadosa de la muestra. Se basa en la amplificación de la superficie mediante instrumentos ópticos (microscopio) para observar las características estructurales microscópicas (microestructura). Este tipo de examen permite realizar el estudio o controlar el proceso térmico al que ha sido sometido un metal, debido a que los mismos nos ponen en evidencia la estructura o los cambios estructurales que sufren en dicho proceso. Como consecuencia de ello también es posible deducir las variaciones que experimentan sus propiedades mecánicas (dependiendo de los constituyentes metalográficos presentes en la estructura).

El examen de la microestructura es muy útil para determinar si un metal o aleación satisface las especificaciones en relación a trabajos mecánicos, tratamientos térmicos y composición general. La microestructura es un instrumento para analizar las fallas metálicas y para controlar procesos industriales, figura 4.6.

Si bien para un estudio de la estructura microscópica se necesita una preparación aún más cuidadosa de la superficie, el procedimiento de

preparación de la superficie es básicamente el mismo para ambos ensayos metalográficos (microscópico y macroscópico).

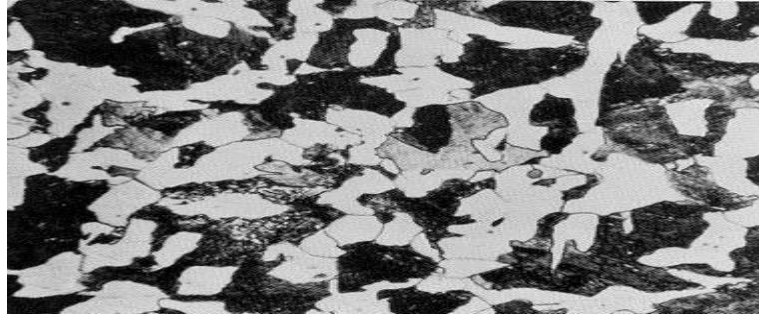


Figura 5.6. Acero 1045. Su estructura muestra perlita fina laminar (oscura) Y ferrita (clara)

4

CAPÍTULO VI

MICROESTRUCTURAS REPRESENTATIVAS DE ACEROS

6.1. METODOLOGÍA

El modelo básico de la microestructura de los metales es la disposición en celdillas de los granos poliédricos o cristales. El tamaño de estos granos oscila entre varios centímetros y centésimas de milímetro, aproximadamente, según el estado del metal.

En su forma más simple, la estructura tiene su origen en que, en cada grano, la disposición de los átomos es esencialmente regular, pero la orientación relativa de esta disposición varía de un cristal a otro. Este cambio de orientación es brusco; la transición tiene lugar límites de grano o de cristal.

Debido a esta diferencia en la orientación atómica, cuando una superficie, adecuadamente preparada por pulido, se ataca, los distintos granos se atacan de forma diferente y, como consecuencia, se manifiestan individualmente a simple vista o bajo el microscopio.

La aludida estructura de grano o cristal poliédrico, es una consecuencia de que los cristales se forman, normalmente (tanto si se originan del estado líquido, como del estado sólido), a partir de un número de núcleos o centros de cristalización, cada uno de los cuales tiene diferente orientación atómica, para llegar, finalmente, al metal poli cristalino. Según el proceso de su formación, los granos pueden tener, como se verá en las probetas una forma alargada o una más regular, es decir, equiaxial.

6.1.1. Microestructuras

La observación metalográfica es importante debido a que es una herramienta la cual se resolverá por medio de ella algunos de los siguientes aspectos:

- ✓ Microestructura
- ✓ Tratamiento térmico
- ✓ Tratamiento mecánico
- ✓ Soldadura
- ✓ Origen de fallas y defectos, etc.

Es evidente que no es posible opinar en una observación metalográfica si no se cuenta con una serie de datos, tales como:

- ✓ Tipo de material
- ✓ Análisis químico
- ✓ Propiedades mecánicas
- ✓ Historia de fabricación
- ✓ Historia de la operación, etc.

Por otro lado, es necesario tener un mínimo de experiencia en las microestructuras y un cierto grado de conocimiento en diversos aspectos metalúrgicos.

El recurso más apropiado para el trabajo metalográfico es tener un atlas que incluya las microestructuras típicas, este sistema es utilizado tanto por principiantes como por investigadores, ya que es difícil tener una experiencia para que abarque todas las microestructuras.

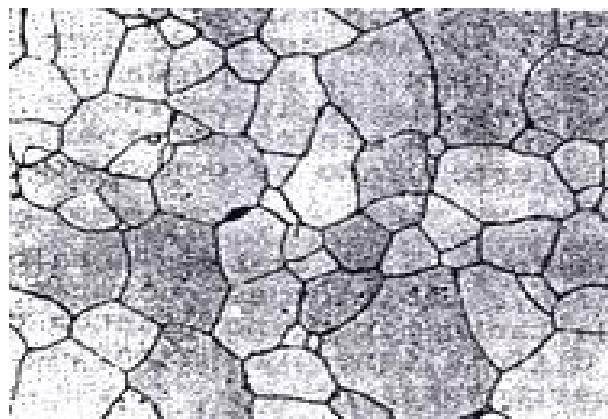
Existen publicaciones que contienen desde unos cuantos tipos de microestructuras hasta verdaderas enciclopedias; en cada caso se siguen clasificaciones determinadas para la búsqueda adecuada.

Para la selección de las microestructuras que se ilustran a continuación, se ha recurrido a investigar en manuales de METALS HANDBOOK (ASM).

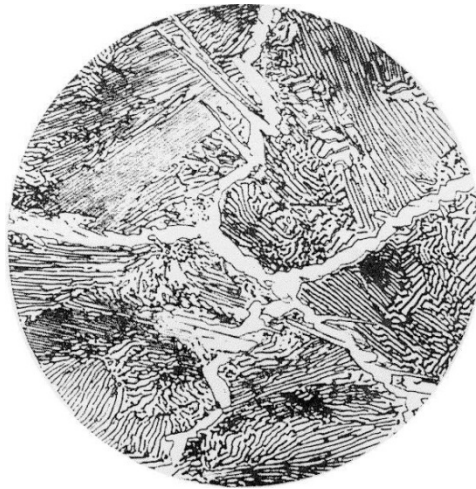
La presentación gráfica de las estructuras, se hace siguiendo la clasificación siguiente, por la experiencia de problemas metalúrgicos en la industria petrolera que se ha investigado:

6.2. FASES HOMOGÉNEAS

Fase homogénea es aquella microestructura que es igual en todo el metal. Esta microestructura se encuentra en los metales puros y en aleaciones de solución sustitucional parcial o total en el estado sólido.



Fierro puro, 100X

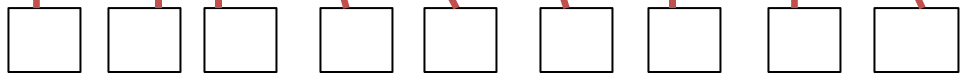
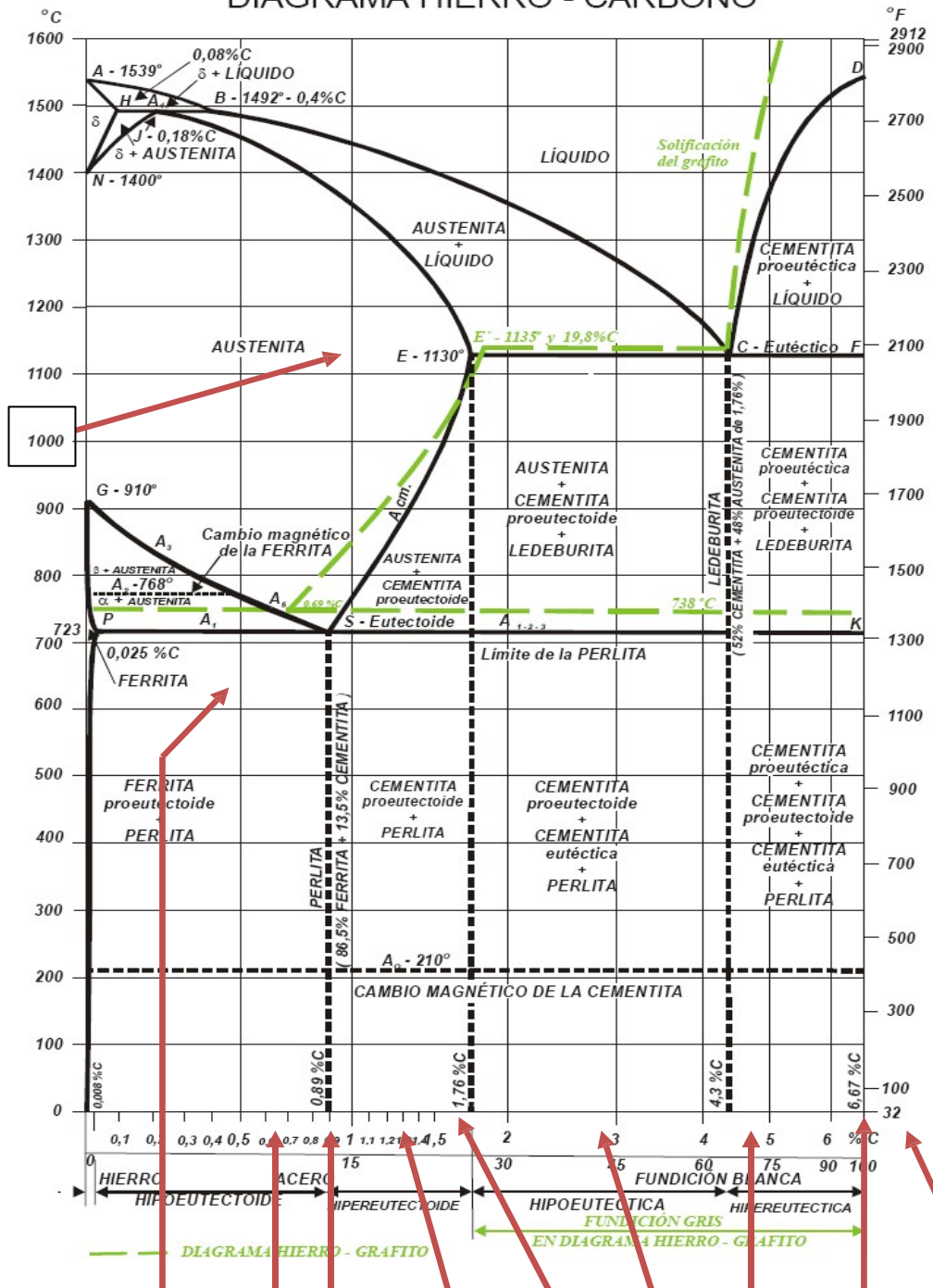


Perlita y Cementita en un acero hipereutectoide, donde la cementita aparece en forma clara.

6.3. MICROESTRUCTURAS DEL DIAGRAMA HIERRO – CARBONO

Las microestructuras que se generan en el diagrama hierro – carbono, son básicas y su composición e identificación permite establecer las propiedades y comportamiento de los metales ferrosos. Estas microestructuras se denominan estables porque se producen por un enfriamiento lento del metal. Para su ubicación adecuada en el diagrama se da su localización de acuerdo con su contenido de carbono. Únicamente la austenita no corresponde a un acero común al carbono, sino que es un acero inoxidable debido a que el níquel hace estable a la austenita a temperatura ambiente.

DIAGRAMA HIERRO - CARBONO



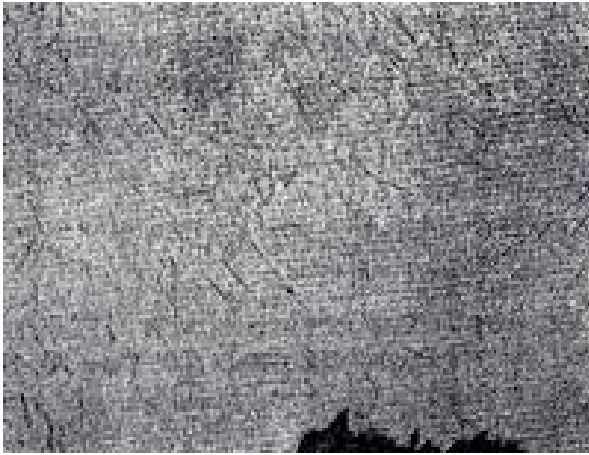


Figura 1. Austenita, 100X

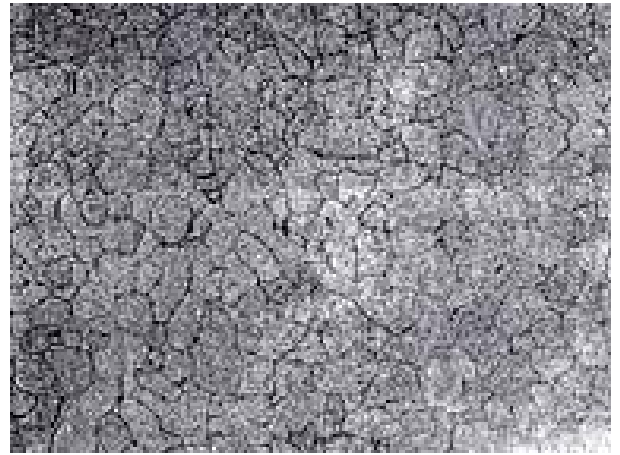


Figura 2. Ferrita, 100X

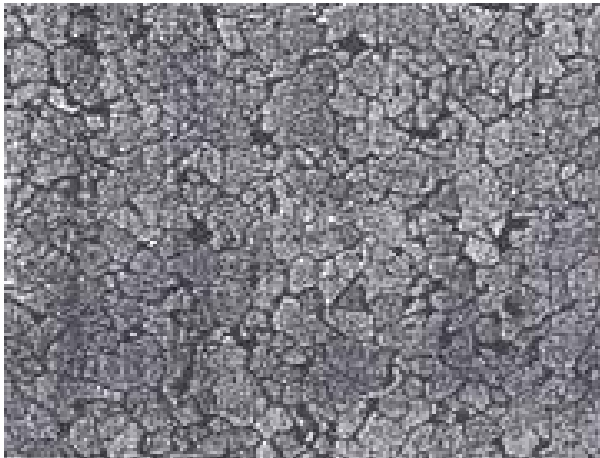


Figura 3. Ferrita y perlita, acero
0.15%C, 200X

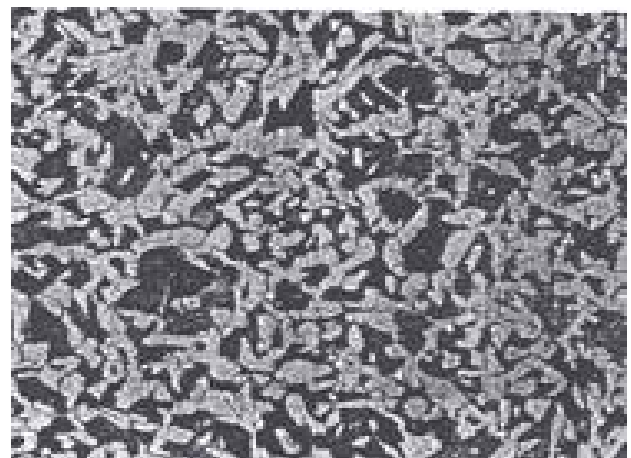


Figura 4. Ferrita y perlita, acero
0.35%C, 200X

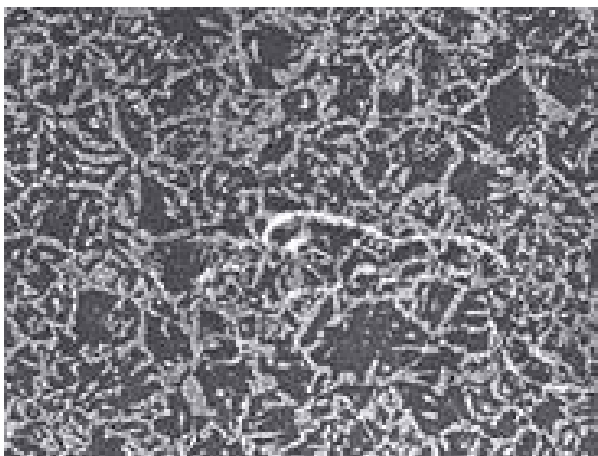


Figura 5. Ferrita y perlita, acero 0.60%C, 200X

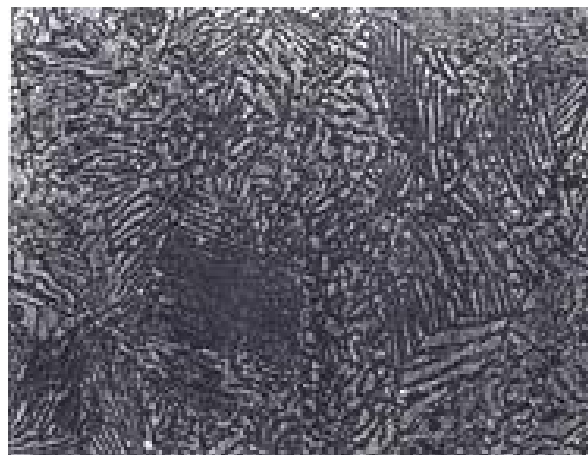


Figura 6. Perlita, acero eutectoide 0.80%C, 200X



Figura 7. Perlita y cementita, acero hierro 1.70%C, 200X

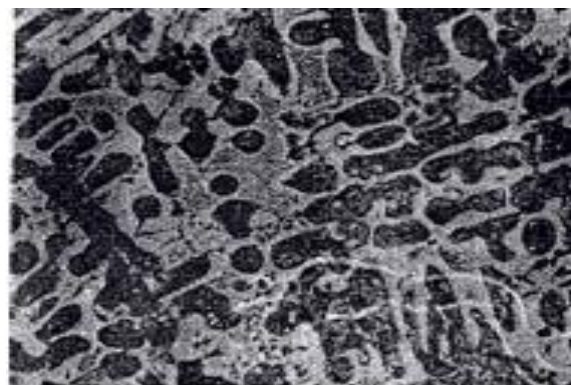


Figura 8. Perlita y ledeburita, 3.0 % C 200X

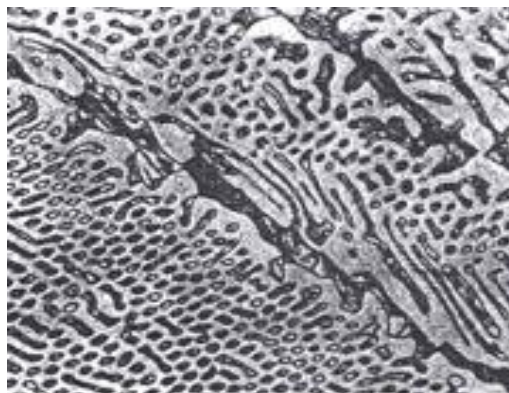


Figura 9. Ledeburita, hierro eutéctico
4.3%C, 200X

6.4. MICROESTRUCTURAS METAESTABLES DE LOS METALES FERROSOS

Acelerando el enfriamiento de los metales ferrosos, se obtienen microestructuras metaestables de gran dureza y fragilidad. Estas microestructuras pueden recuperar en cierta medida la tenacidad con un calentamiento controlado posterior.



Agujas de martensita y austenita
residual, acero 1.30%C, 200X



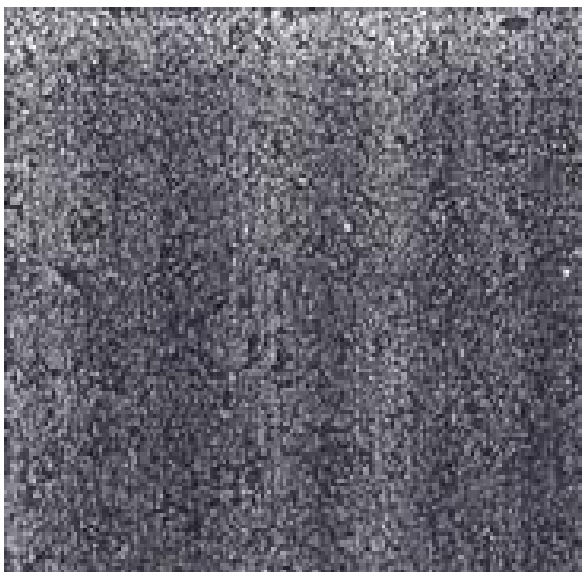
Martensita revenida, acero 0.45%C,
200X



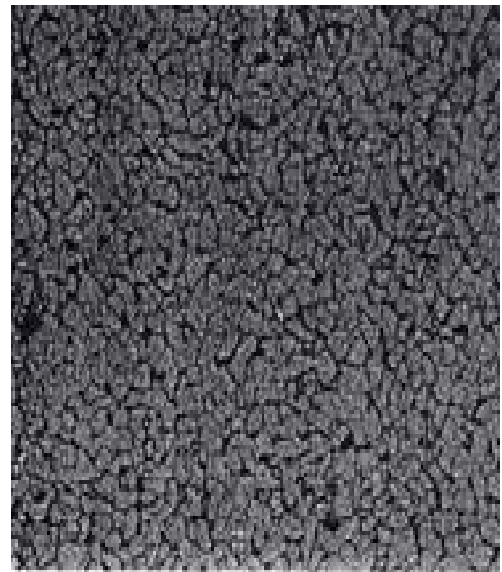
Bainita, acero 0.76%C, 200X

6.5. INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE CARBONO EN LA MICROESTRUCTURA DE LOS ACEROS

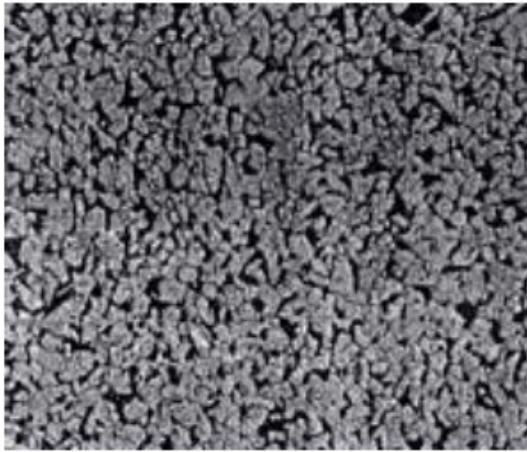
Con el aumento del carbono la microestructura de los aceros cambia, aumentando la cantidad de perlita en detrimento de la ferrita, para luego aparecer la cementita en los límites de la perlita, cuando el carbono pasa de 0.80%.



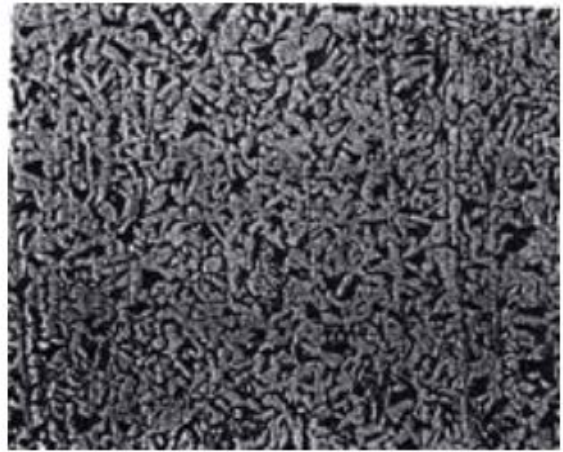
Perlita 97%, acero 0.06%C, 100X
0.06%C,



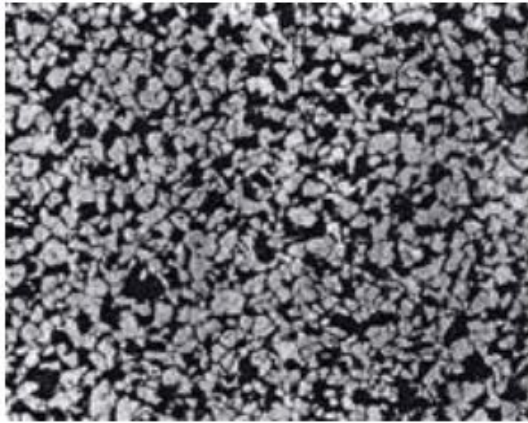
Ferrita 90% y perlita 10%, acero
100X



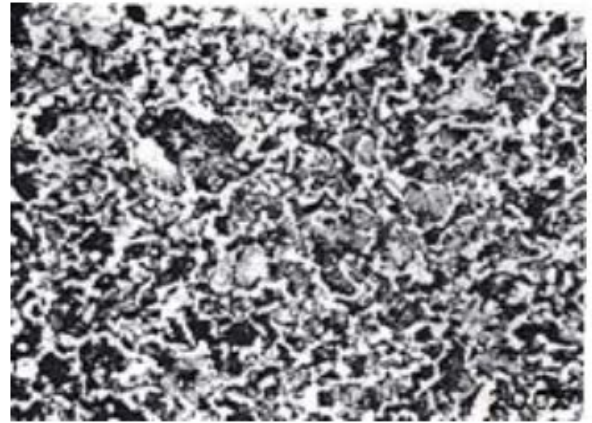
Ferrita 80% y perlita 20%, acero 0.22%C, 100X
0.35%C 100x



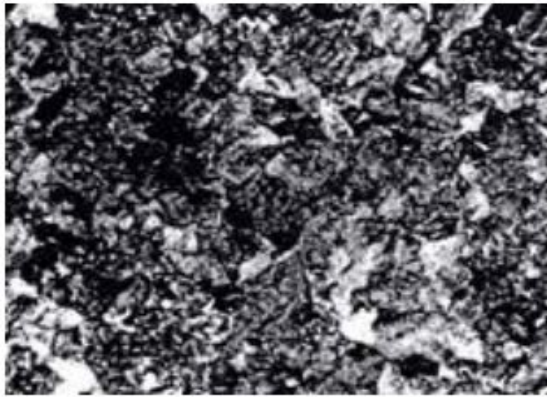
Ferrita 65% y perlita 35%, acero



Ferrita 38% y perlita 62%, acero
0.60%C, 100X



Ferrita 45% y perlita 55%, acero
0.45%C, 100X



Ferrita 2% y perlita 98%, acero

0.30%C, 200X



Perlita y cementita %, acero

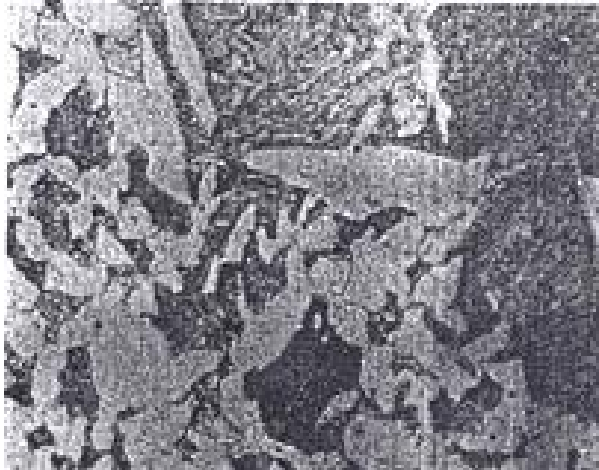
0.75%C, 200X

6.6. MICROESTRUCTURAS QUE SE OBTIENEN EN EL ACERO AISI-1045 AL TRATARLO TÉRMICAMENTE.

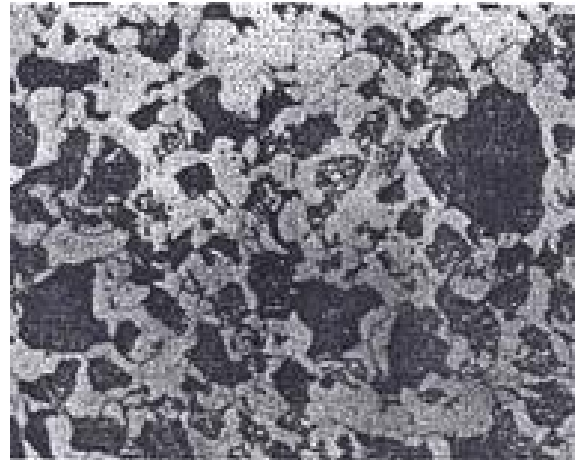
Además de la composición química, los metales deben sus propiedades a los tratamientos térmicos que se les da cuando ello es posible. En el caso del acero AISI - 1045 se le aplican entre otros, tratamientos térmicos de:

- 1). Recocido
- 2). Normalizado
- 3). temple en agua
- 4). Revenido

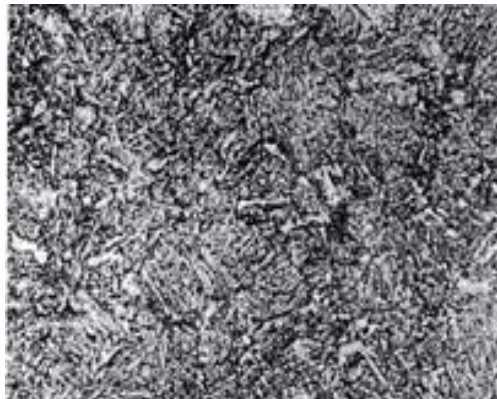
Obteniéndose las microestructuras que se muestran a continuación y las durezas que en ellas se indican:



Normalizado; Ferrita y Perlita,
82HRc, 200X



Recocido; Ferrita y perlita, dureza
dureza 92HRc, 200X



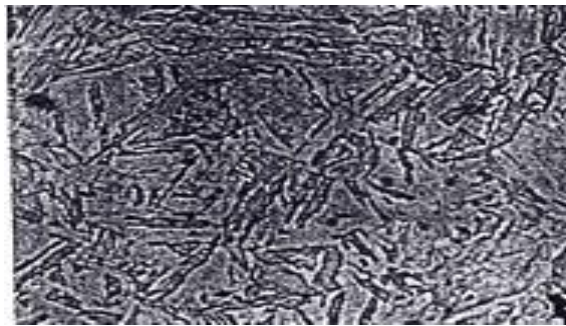
Revenido; martensita revenida,
dureza 90HRc, 400X



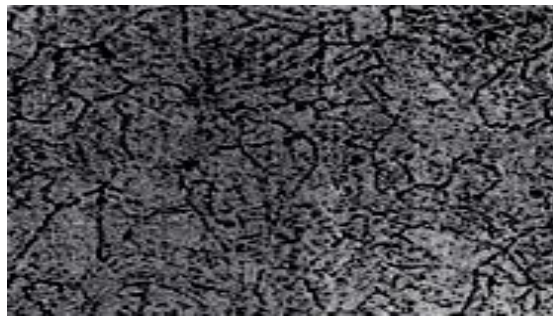
Temple en agua; Martensita
revenida, dureza 61HRc, 600X

6.7. TRATAMIENTO DE SOLUBILIZACIÓN Y ENVEJECIMIENTO

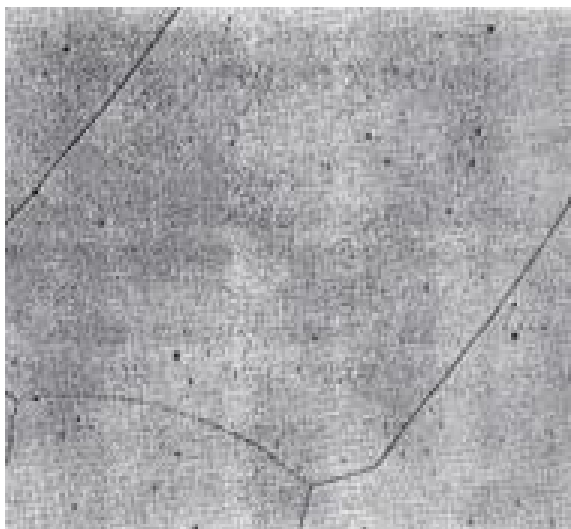
Además de los tratamientos térmicos clásicos, existen otros que se aplican específicamente a ciertos metales. En estos tratamientos se obtienen condiciones de plasticidad si se enfría rápidamente y de fragilidad si el enfriamiento es lento, en este caso están los aceros inoxidable endurecidos por precipitación, algunos moneles, etc.



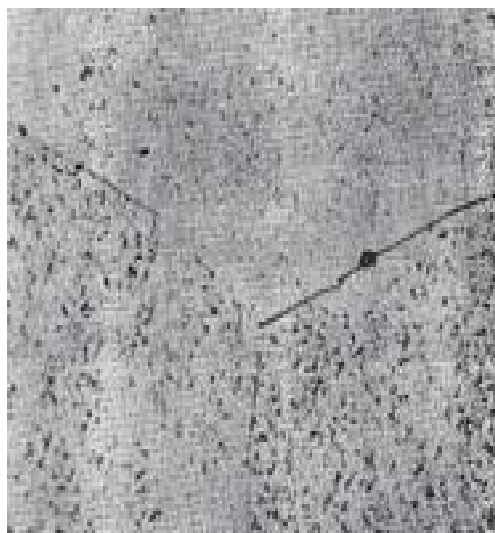
Acero inoxidable 17-7, PH con tratamiento de solubilización; austenita, 100X



Acero inoxidable 17-7, PH con tratamiento de envejecimiento; carburos precipitados, 400



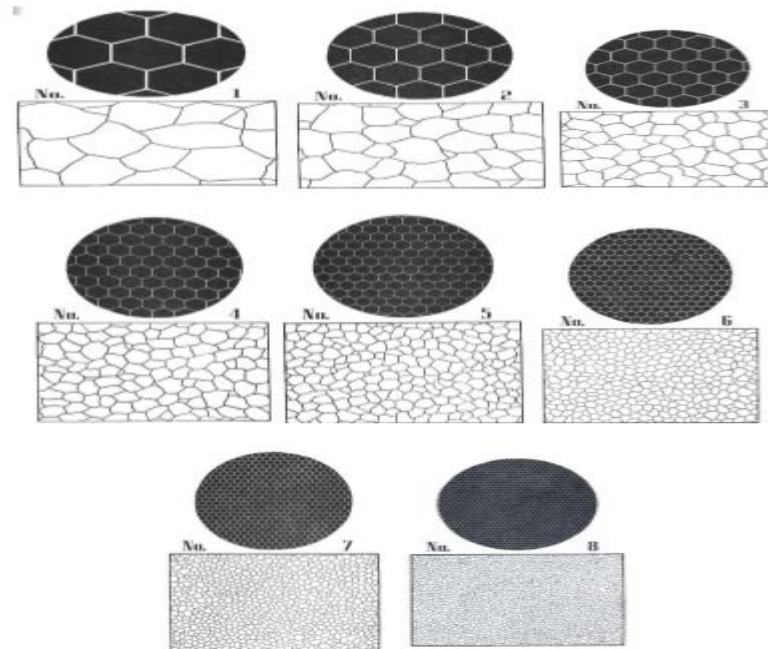
Monel K-500 con tratamiento térmico de solubilización; Fase Homogénea100X



Monel K-500 con tratamiento de envejecimiento. Precipitado de Ni₃(Al,Ti), 1000X

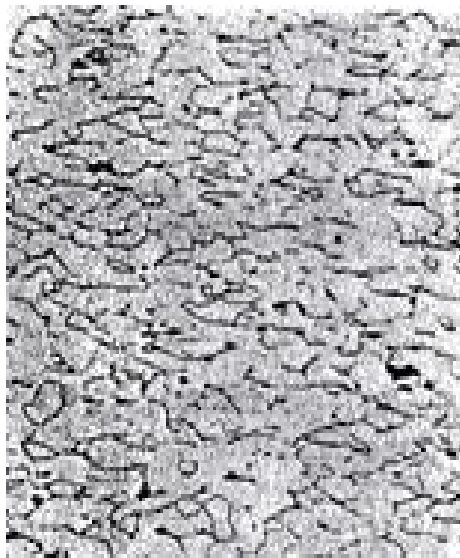
6.8. TAMAÑO DE GRANO DEL ACERO

El tamaño de grano del acero es una de las características que se obtiene en el metal de acuerdo con las prácticas de fabricación del producto. Tener un grano pequeño es el único camino de aumentar simultáneamente la resistencia mecánica y la tenacidad. El tamaño de grano se indica por medio de un número establecido por la norma ASTM E - 112, la cual relaciona el número de grano por mm^2 a 1x o por pulg^2 a 200x. Existen tamaños desde 1 hasta 10.

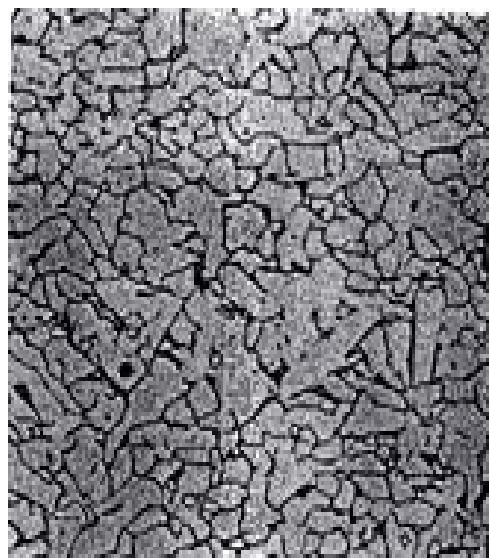


6.9. INFLUENCIA DE LA DEFORMACIÓN

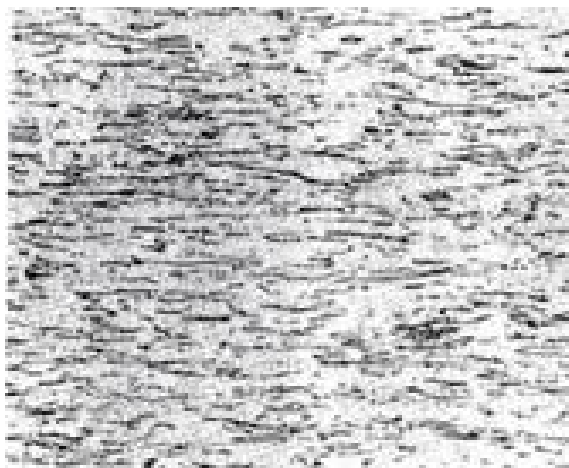
La aplicación de trabajo mecánico en frío deforma la microestructura tanto más, cuando mayor sea la cantidad de trabajo aplicado. La relación de la sección de un producto dado con respecto a la original se denomina "reducción" y en general se da con porciento. Con la reducción aumenta la resistencia mecánica. Se ilustra a continuación un acero de bajo carbono, AISI - 1008, cuyo grano se le deforma por diferentes porcentajes de reducción.



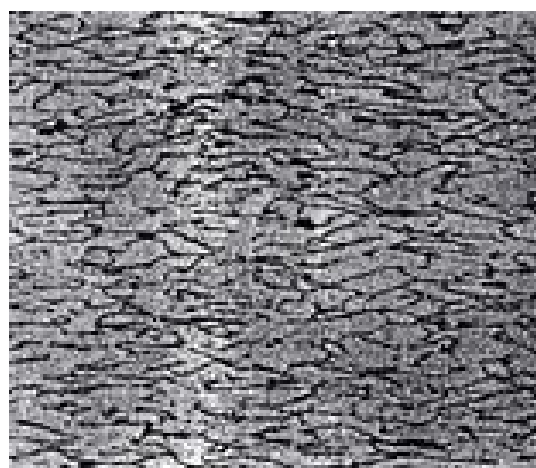
10% de reducción, 250X



30% de reducción, 250X

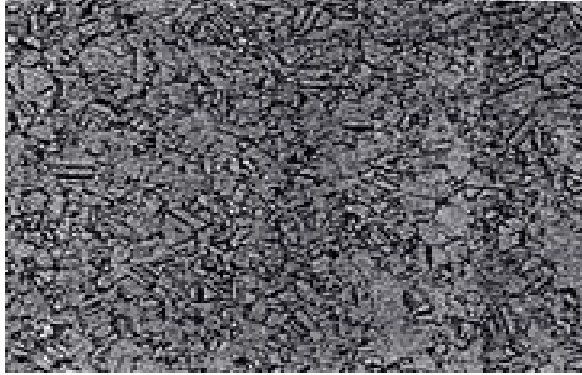


70% de reducción, 250X

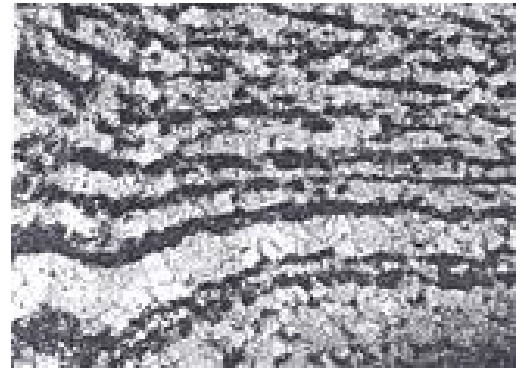


500% de reducción, 250X

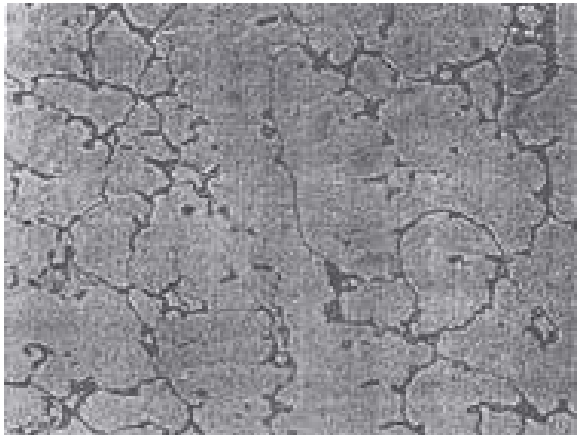
6.10. MICROESTRUCTURAS TÍPICAS DE ALGUNOS ACEROS.



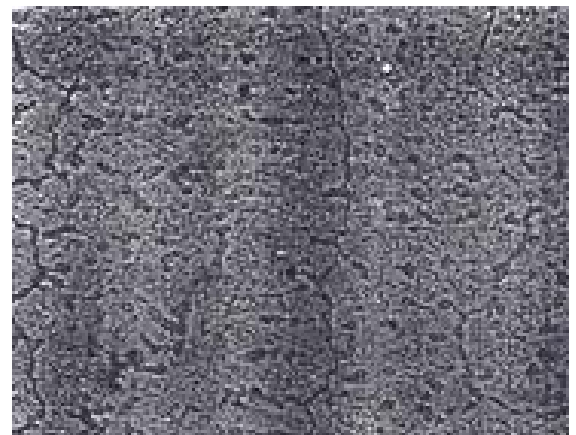
Acero inoxidable austenítico.
Austenita con maclas, 100X



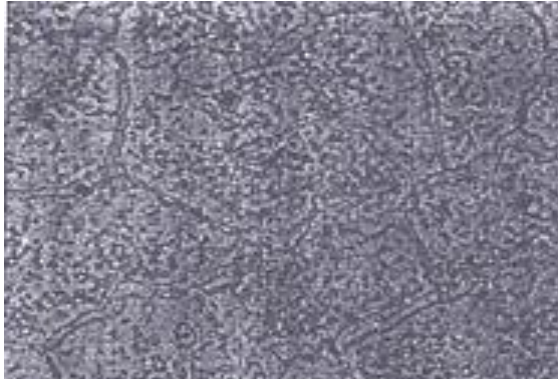
Acero al carbono. Lámina que muestra los microconstituyentes agrupados en bandas de ferrita y perlita, 100X



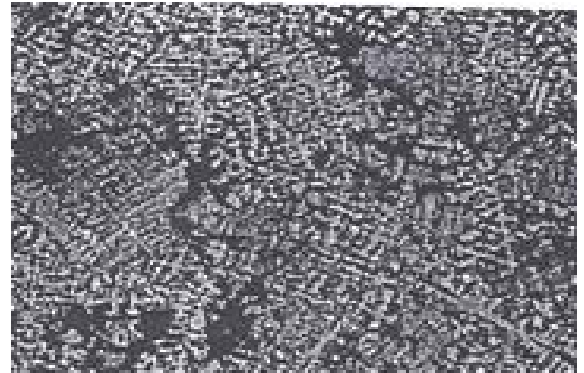
Acero HK40 recién fabricado.
Austenita y carburo en los límites de grano, 100X



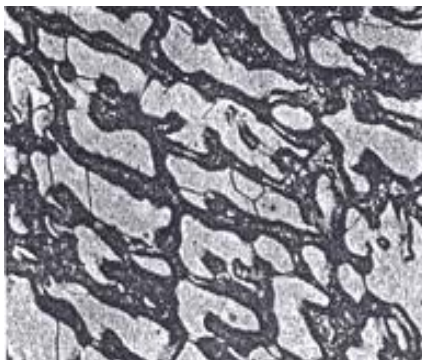
Acero inoxidable HK40 después de trabajarse a 800°C. Precipitados de carburos, 100X



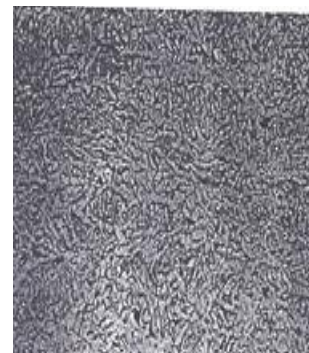
Acero inoxidable HK40 después de mucho tiempo de trabajo. Precipitación masiva de carburos en los límites de grano y en la matriz, 200X.



Metal colado. Estructura dendritica, 50X



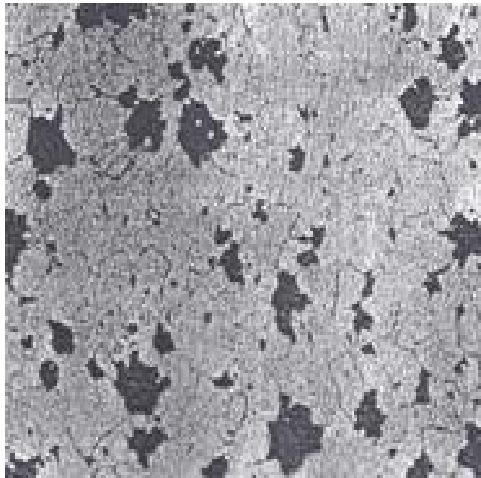
Estructura del metal de aporte de soldadura de un acero al carbono, 250X



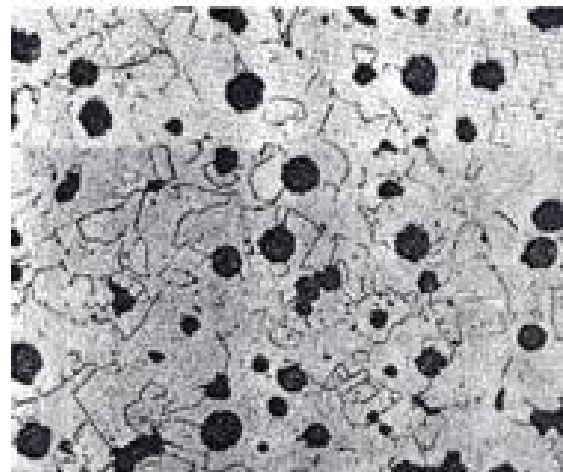
Estructura del metal de aporte de soldadura de un acero Carpentier 20-Cb3, 400X

6.11. GRAFITOS EN LOS HIERROS

La forma y distribución del carbono, ya como cementita o como grafito, es determinante en las propiedades de los hierros.



Hierro maleable. Grafito nodular en ferrita, 100X



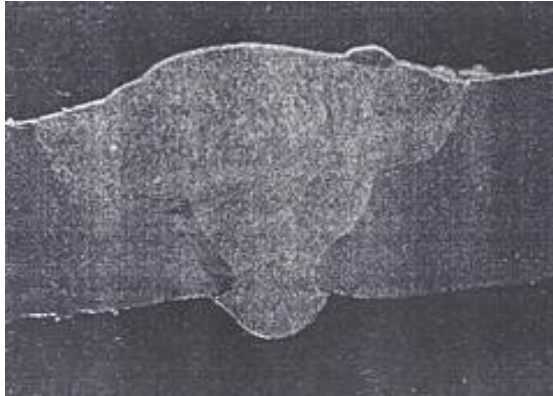
Hierro dúctil. Grafito esferoidal en ferrita, 100X

6.12. MICROESTRUCTURAS DE LAS SOLDADURAS DEL ACERO.

En el caso de las soldaduras se presentan, cuando se aplica material de aporte, tres zonas que son:

- 1). Metal de aporte
- 2). ZAC (zona afectada por el calor)
- 3). Metal base

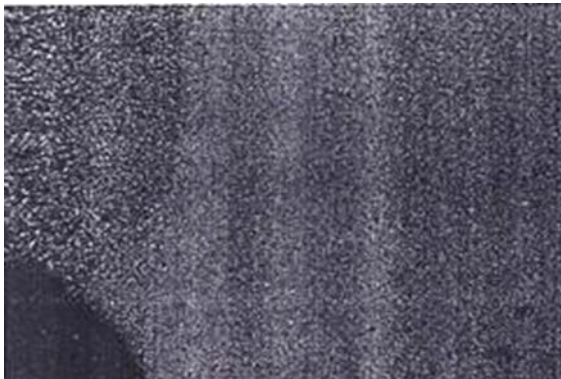
Cuando se usa la soldadura a tope por resistencia eléctrica, sin metal de aporte, se tienen zonas típicas, especialmente cuando el proceso es inadecuado. A continuación se ilustran los dos casos:



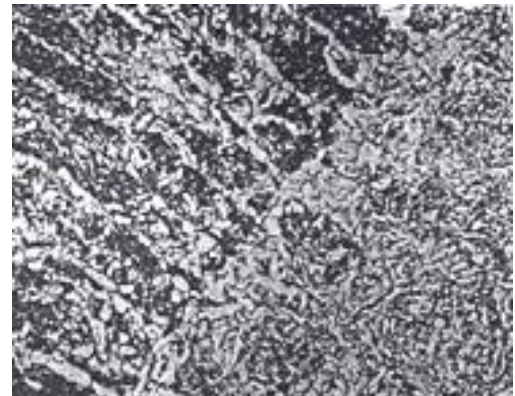
Metal de aporte con estructura dendrítica, ZACs (zonas afectadas por el calor) y metal base. Acero al carbón, 100X.



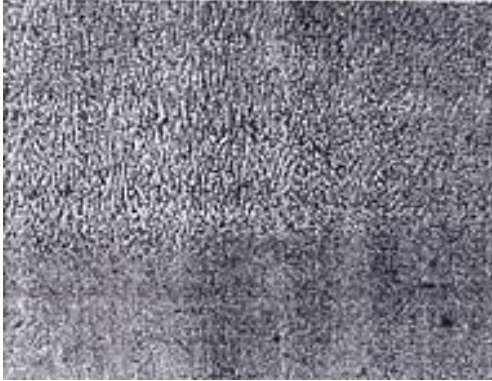
Metal de aporte ZAC (zona afectada por el calor) y metal base con dos diferentes tamaño de grano. Acero al carbón, 100X.



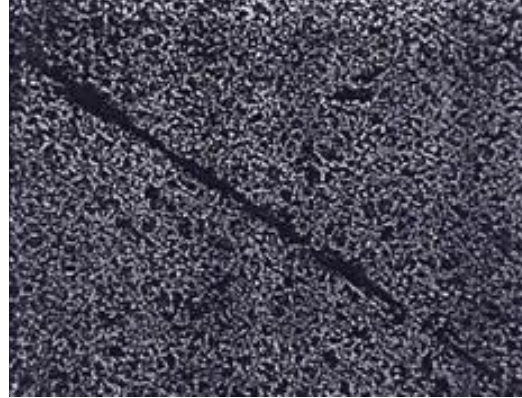
Metal de aporte ZAC (zona afectada por el calor) y metal base con dos diferentes tamaño de grano. Acero al carbón, 100X.



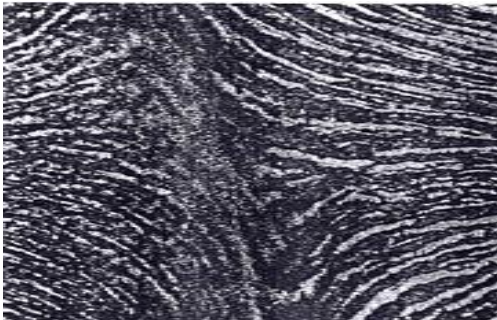
Metal de aporte ZAC (zona afectada por el calor) y metal base. Acero al carbón, 200X.



ZAC (zona afectada por el calor) y metal base. Acero inoxidable austenítico, 100X.



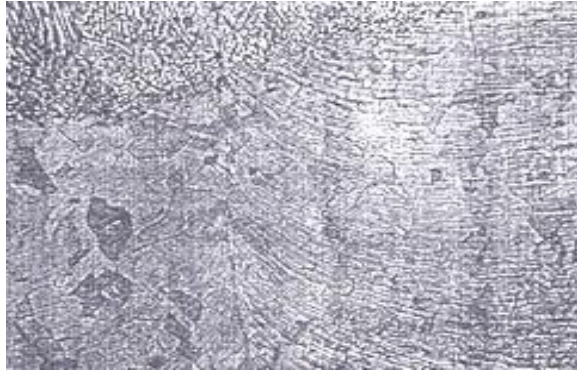
Soldadura a tope. Falta de fusión. Acero al carbon, 100X.



Soldadura a tope de un acero. Microestructura de ferrita y perlita en forma de bandas que se han deformado por la presión al realizar la soldadura. Acero al carbono, 100X.



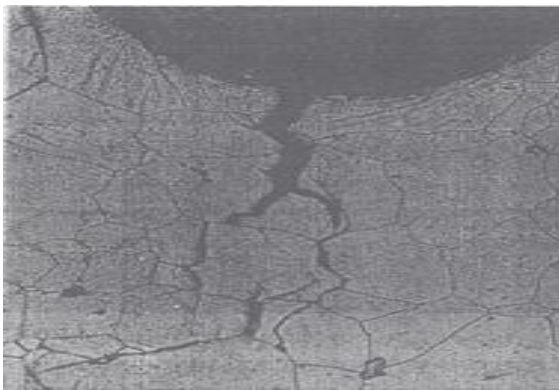
Soldadura a tope de un acero inoxidable austenítico. Se observa la deformación al realizar la soldadura y metal de aporte posterior para asegurar la calidad de la junta, 100X.



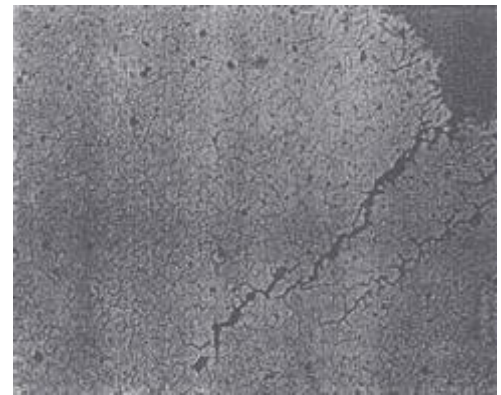
Soldadura a tope de un acero inoxidable austenítico. Se observa la deformación al realizar la soldadura y metal de aporte posterior para asegurar la calidad de la junta, 100X.

6.13. MICROESTRUCTURAS Y DEFECTOS

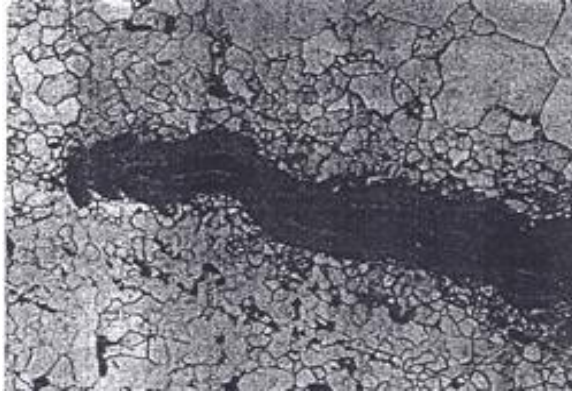
La observación cuidadosa de las microestructuras es un factor de capital importancia para establecer la génesis y el desarrollo de defectos que se presentan en el metal.



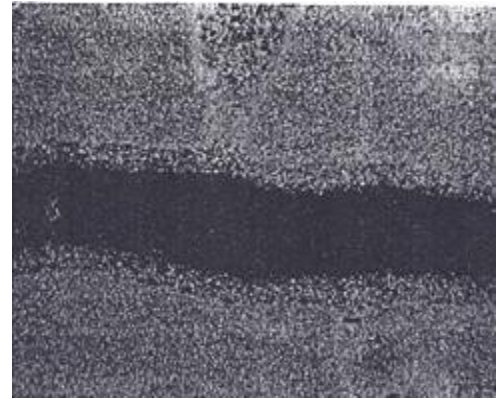
Austenita. Inicio de una fractura por corrosión bajo esfuerzo, 200X



Austenita. Fractura por corrosión bajo esfuerzo, 200X

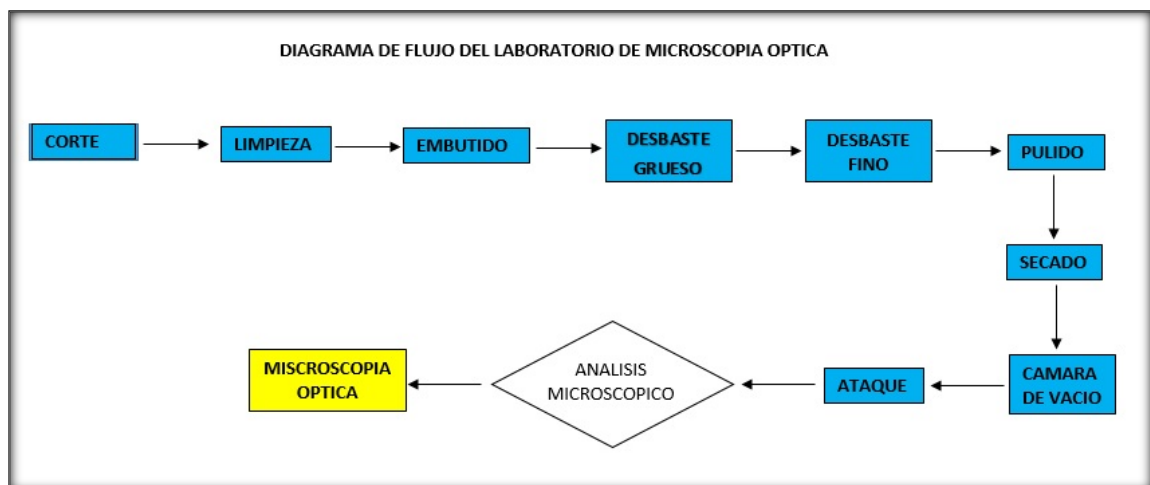


Ferrita. Grieta con escoria,
200X



Segregaciones en ferrita por donde
ha corrido una grieta, 200X

6.14. DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL DEL PROCESO DEL LABORATORIO DE MICROSCOPIA.



CONCLUSIONES

Podemos concluir lo siguiente:

1. Con la ayuda de esta guía se podrá comprender mejor las técnicas y los procedimientos de ataque de una probeta metalográfica.
2. Con este estudio, se tendrá una visión clara para observar las estructuras de los aceros en una probeta, tomando en cuenta que, para que una probeta se pueda observar bien en el microscopio, debe estar bien pulida.
3. Al utilizar el microscopio óptico, se podrá observar de una mejor forma todas las estructuras que se presentan e identificarlas por medio de sus propiedades físicas, químicas y mecánicas, como también las estructuras que se forman debido a un tratamiento térmico.

4. Se recomienda nunca usar guantes, mascarilla y pinzas cuando se esté trabajando en las prácticas de pulido y ataque químico, para así retirar la probeta del reactivo con toda confianza.
5. Cuando se realiza el ataque y pulido químico de la probeta, es muy importante no exponerla demasiado tiempo al reactivo, ya que este puede provocar que la cara pulida se quemé u opaque demasiado, y de esta forma no se observe la estructura.

BIBLIOGRAFIA

1. AVNER, SYDNEY H; "Introducción a la Metalurgia Física"; 2da. Edición, México 1988.
2. DONALD R ASKELAND; "La ciencia e ingeniería de los materiales"; 3ª Edición, Editorial International Thomson, México 1998.
3. GUY, ALBERT G; "Metalurgia Física para Ingenieros"; Editorial CECSA, México 1965. [4]. Hilly, C. Chaussin; "Metalurgia, Elaboración de los Metales". Séptima; Editorial Urmo, España 1975.
4. KAZANAS H.C, BAKER, GLENN E. GREGOR, THOMAS G.; "Procesos básicos de Manufactura"; 1ª Edición, Editorial McGraw-Hill, México 1983.

5. KEYSER, CARL A.; "Técnicas de laboratorio para pruebas de materiales"; Editorial Limusa, México 1972.
6. LASHERAS ESTEBAN, JOSÉ M. SANCHEZ-MARIN PIZARRO JOSÉ M.; "Tecnología de los Materiales Industriales" 4ª Edición, Editorial Cedel, España 1974.
7. METALS HANDBOOK NINTH Edition, Volume 9, American Society for Metals, 1985 (Metalografías y microestructuras)
8. NORMAS ASTM E 304 (macroataque) y E 407 (microataque).

ANEXOS

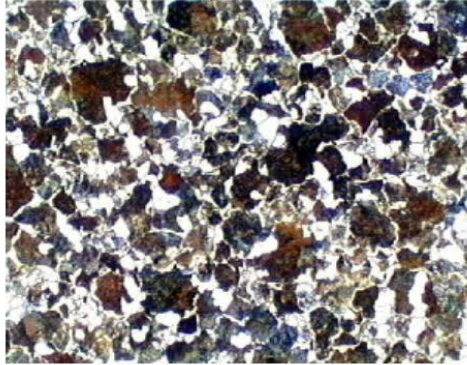


Fig.1:100x

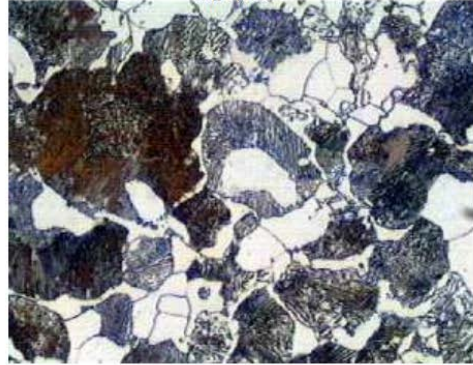


Fig.2: 400x

Acero al carbono con 0.35%C, laminado en caliente y enfriado desde 870 C en el horno (recocido)

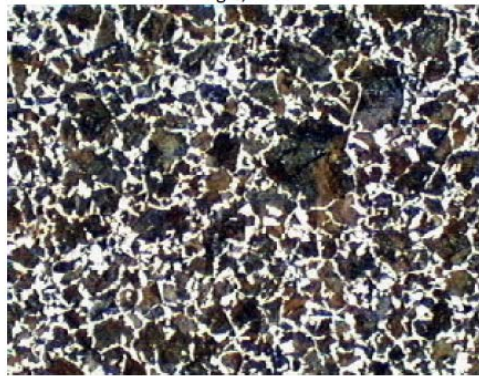


Fig.3:100x

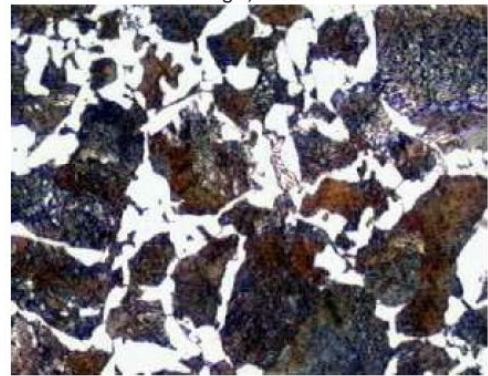


Fig.4: 400x

Acero al carbono con 0.35%C, laminado en caliente a 870 C y normalizado (enfriado al aire).



Fig.5:100x



Fig.6: 400x

Acero al carbono con 0.35%C, laminado en caliente, calentado a 870 C durante una hora y templado en agua desde esa temperatura (templado)