

TÉCNICAS EXPERIMENTALES EN METALURGIA

Unidad temática nº 6: El microscopio metalográfico y preparación de muestras para examen metalográfico.

Introducción

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

6.1.: El microscopio metalográfico

En este punto es apropiado analizar brevemente los principios del microscopio metalúrgico. 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 6.1**, 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 amplificación 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 amplificación total es igual al producto de las amplificaciones del objetivo y del ocular.

- Principios Generales

El objetivo se compone de varias lentes que, agrupadas, forman un sistema óptico positivo y convergente.

Si una probeta metalográfica se coloca un poco más allá del punto focal frontal del objetivo, se obtiene una imagen primaria real mayor que el objeto y situado al otro lado del sistema de lentes que componen dicho objetivo. El tamaño de esta imagen primaria depende de las distancias relativas a que se encuentran del objetivo, el objeto y su imagen. La distancia a que tal imagen se forma, con relación siempre al objetivo, depende de la distancia focal de este elemento, y de la distancia a que se encuentra el objeto con relación al punto focal frontal del objetivo.

Si la imagen primaria producida por el objetivo se forma a una distancia apropiada, es posible que el segundo sistema óptico (el ocular) amplifique aún esa imagen en una cantidad proporcional a su aumento propio. La distancia entre ocular y objetivo es fija y corresponde a la longitud mecánica del tubo del

microscopio. Para lograr que la imagen primaria se forme en la posición debida con respecto al ocular, se debe enfocar el microscopio.

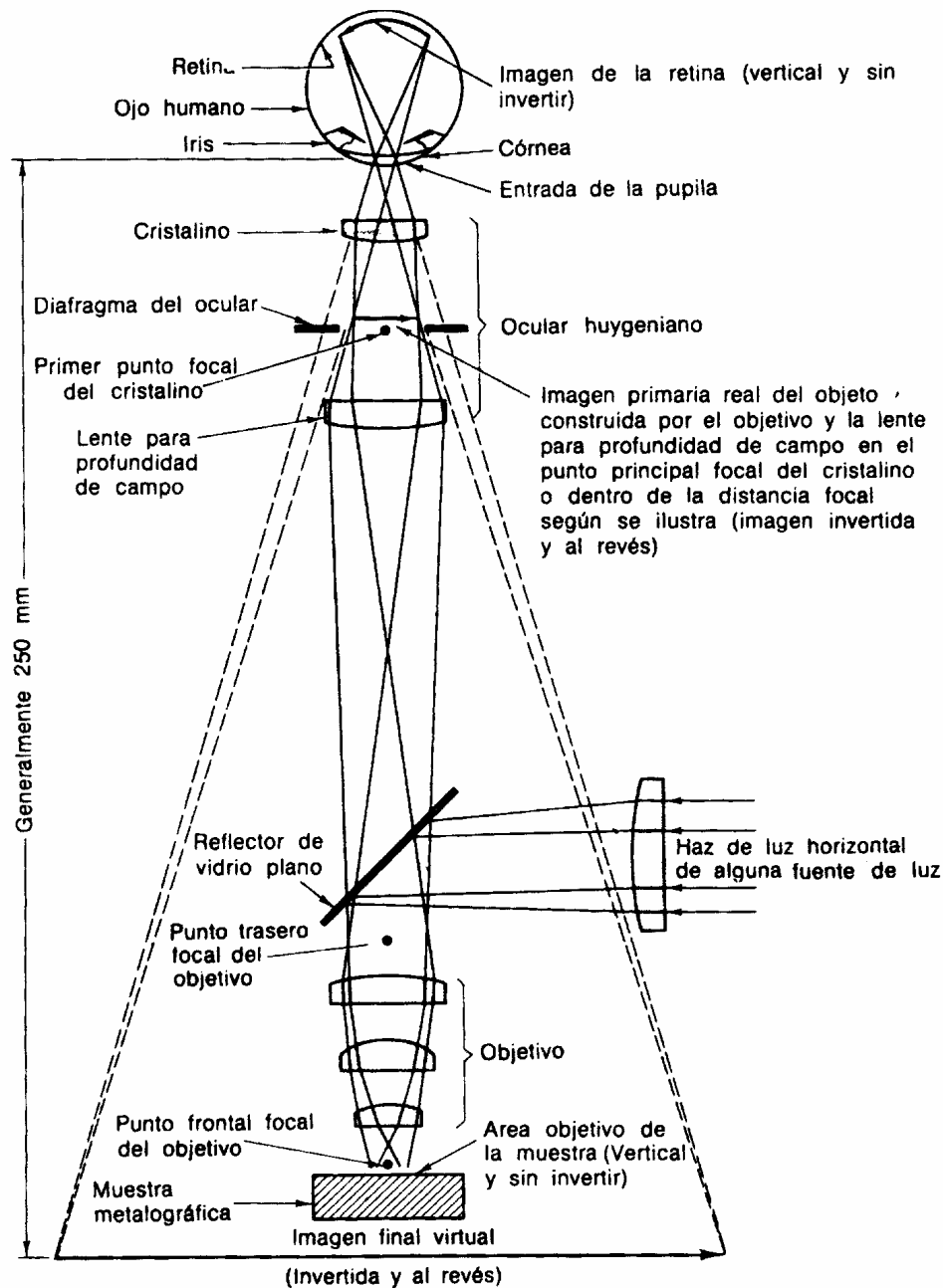


Figura 6.1: Ilustración del principio del microscopio metalúrgico compuesto y la traza de los rayos a través del sistema óptico desde el campo objetivo hasta la imagen final virtual. (Con autorización de G.L. Kehl, "Principles of Metallographic Laboratory Practice", 3a. ed., McGraw-Hill Book Company, Nueva York, 1949).

El objetivo es capaz, por sí mismo, de dar una imagen real del objeto, pero existen unos oculares como los de Huygens, que colaboran en la formación de esta imagen. La lente frontal del ocular, o lente de

campo, forma sistema con el objetivo para originar una imagen primaria en el foco de la lente de salida u ocular. Si la posición de esta imagen primaria es correcta, la lente ocular (no confundir con el ocular que es el sistema completo) en unión con el sistema de lentes que forman el ojo humano, producen una imagen real en la retina. La imagen formada en la retina es derecha y no está invertida, pero debido a la forma con que responde el sistema nervioso a las excitaciones de la retina, el observador tiene la conciencia de que tal imagen es invertida y se encuentra localizada en el espacio exterior y a cierta distancia del ojo. Esta imagen en el espacio, no existe realmente y se denomina imagen virtual.

- Objetivos

De los tres elementos esenciales que constituyen un microscopio (objetivo, ocular e iluminador) el objetivo es el más crítico, por su influencia sobre la calidad de la imagen observada. Los objetivos se clasifican de acuerdo a la forma en que han sido corregidos los errores de aberración. Hay dos grupos distintos en uso: los acromáticos y los apocromáticos, y otros dos menos importantes: los semiapocromáticos y los monocromáticos.

- Aberración cromática.

Cuando la luz blanca procedente de un foco situado más allá de su distancia focal, a través de un lente simple positivo, se dispersa y se puede obtener una serie de imágenes del foco, de distintos colores, en distintos puntos del eje óptico. Puesto que el índice de refracción de los medios, tales como los vidrios ópticos, es tanto mayor cuanto más corta es la longitud de onda de la luz visible que los atraviesa, la imagen violeta o azul del foco, se produce más cerca de la cara de salida de la lente que la imagen roja. La aberración cromática es perjudicial, puesto que la imagen formada aparecerá rodeada de halos coloreados y falta de nitidez y claridad. Tal defecto es inevitable en una lente simple, pero se puede corregir parcialmente en un sistema, tal como un objetivo, si sus lentes elementales están formados por vidrios ópticos distintos y de algunos minerales, cuyos poderes dispersivos y sus índices de refracción sean diferentes. Los objetivos acromáticos están corregidos para dos regiones seleccionadas del espectro, generalmente el rojo y el verde. Los apocromáticos están corregidos para tres regiones del espectro, generalmente rojo, verde y violeta. (**figura 6.2**)

- Aberración esférica

Cuando la luz monocromática, es decir, luz de una longitud de onda definida, pasa a través de una lente positiva sencilla y procede de un foco luminoso situado más allá de su distancia focal, se forman una serie de imágenes a lo largo del eje principal. La luz que pasa más próxima a los bordes de la lente se refracta más intensamente que la que pasa más cerca del centro óptico, y por ello los rayos marginales originan una imagen que se forma más cerca de la cara de salida que la que forman los rayos centrales. Este error inevitable en una lente no corregida, se denomina Aberración Esférica.

Cuando a través de la lente pasa una luz blanca, la aberración esférica se complica porque se asocia a la aberración cromática y se forman una serie de imágenes coloreadas a lo largo del eje de la lente. No se

puede corregir la aberración esférica con relación a todos los rayos que puedan atravesar la sección transversal de un sistema de lentes y aunque corrija el efecto para los rayos centrales y los que puedan pasar por la periferia, siempre quedará una zona intermedia no completamente corregida. (figura 6.3)

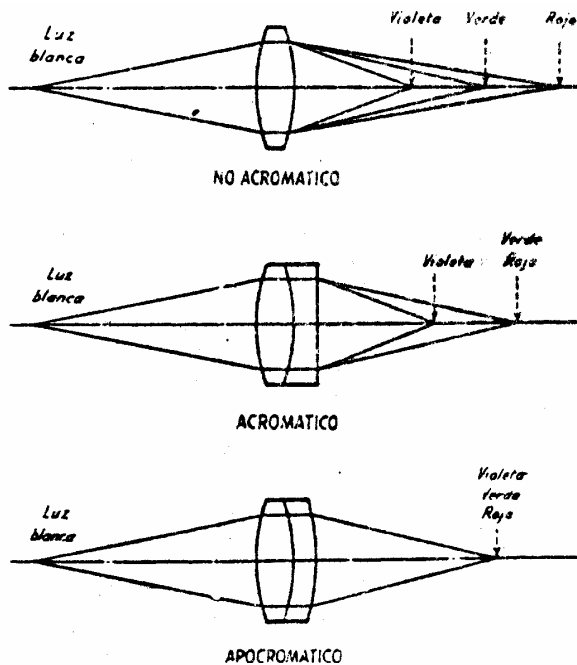


Figura 6.2: Esquema del fenómeno de la aberración cromática longitudinal y del grado de corrección usual de los objetivos acromáticos y apocromáticos.

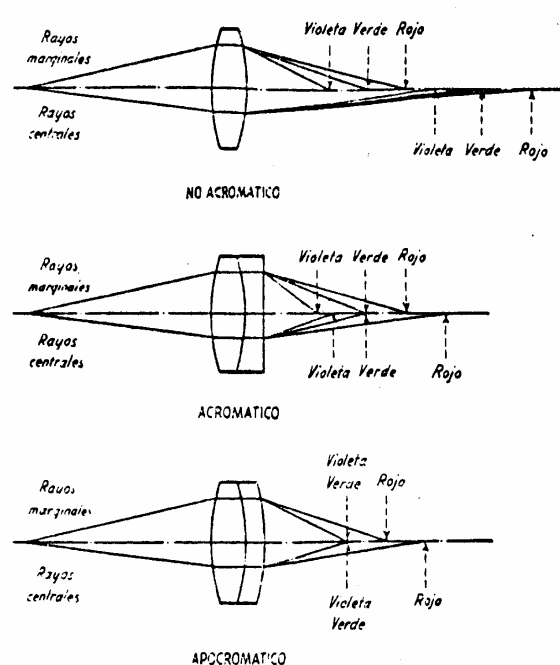


Figura 6.3: Esquema del fenómeno de la aberración esférica y del grado de corrección usual de los objetivos acromáticos y apocromáticos.

- Objetivos Acromáticos

Son de alta calidad, inferiores a los apocromáticos, pero de menor precio. Se encuentra en el comercio con distancias focales muy variadas, entre 32 mm a 1.8 mm y con aumentos muy diferentes, entre 4x y 97x. Están corregidos esféricamente para una región del espectro, verde y amarillo, y cromáticamente para dos colores, verde y rojo. Por esto no pueden dar imágenes con relaciones correctas de color.

Normalmente se les usa con luz filtrada que posee las longitudes de ondas medias del espectro, verde-amarillo. Imágenes con luz roja, azul o violeta son de inferior calidad.

- Objetivos apocromáticos

Son los mejores pero más caros. Tienen distancias focales menores y poseen mayores aperturas numéricas y generalmente, más aumentos propios. Su campo de observación es menos plano que el de los acromáticos. Son más complejos por estar formados de un mayor número de lentes, y mejor corregidos. Están corregidos cromáticamente para tres regiones del espectro, rojo, verde y violeta y esféricamente para dos

colores, verde y violeta. Para obtener un máximo rendimiento deben utilizarse con oculares compensadores. Son los más adecuados para la observación visual a grandes aumentos y para la fotomicrografía. Dan buen resultado con luz blanca y también con luz verde-amarilla o azul, logradas por un filtro adecuado.

- Objetivos semiapocromáticos

Se conocen como objetivos de fluorita, son de alta calidad. Están corregidos en un grado intermedio entre los acromáticos y los apocromáticos y requieren oculares compensadores.

- Objetivos especiales

La mayoría de los equipos microscópicos modernos están equipados con estos objetivos corregidos para longitud de tubo infinita.

- Propiedades de los objetivos

a) Aumentos

Cada objetivo posee un aumento propio característico, es decir, capacidad para dar una imagen un número determinado de veces mayor que el objeto. El sistema óptico del microscopio se completa con el ocular. Los oculares como los objetivos, tienen sus aumentos grabados en el montaje. El aumento total depende de los aumentos propios de cada uno de estos elementos y de la distancia que los separa del microscopio.

Todos los objetivos salvo aquellos que están corregidos para longitud infinita, están proyectados para una longitud determinada de tubo, como por ejemplo, 160 ó 250 mm. Cuando se emplea una determinada combinación de objetivo y ocular, precisamente con la longitud de tubo prevista, el aumento total logrado es igual al producto de los aumentos propios del objetivo y el ocular.

b) Apertura numérica

Define los detalles más pequeños de un objeto que, con ciertas limitaciones, puede resolver, es decir, distinguir clara y completamente. La finalidad de todos los objetivos es recibir, para formar la imagen, un cono sólido de luz mayor que el que normalmente podría recibir el ojo desnudo. De la magnitud de este cono dependen, en parte, la claridad de la imagen y la resolución de los detalles finos del objeto.

La resolución depende esencialmente de la cantidad de luz que penetra en el objetivo y es evidente que será esta cantidad tanto mayor cuanto mayor la amplitud angular del cono citado. Esta cantidad de luz depende, además, del índice de refracción del medio que separa el objetivo del objeto y a través del cual pasan los rayos que formarán la imagen (**figura 6.4**). La apertura numérica, que denominaremos A, se puede expresar adecuadamente por el producto del índice de refracción n del medio, y el seno de la mitad de la amplitud angular del cono en cuestión.

$$A. = n \text{ sen } \mu$$

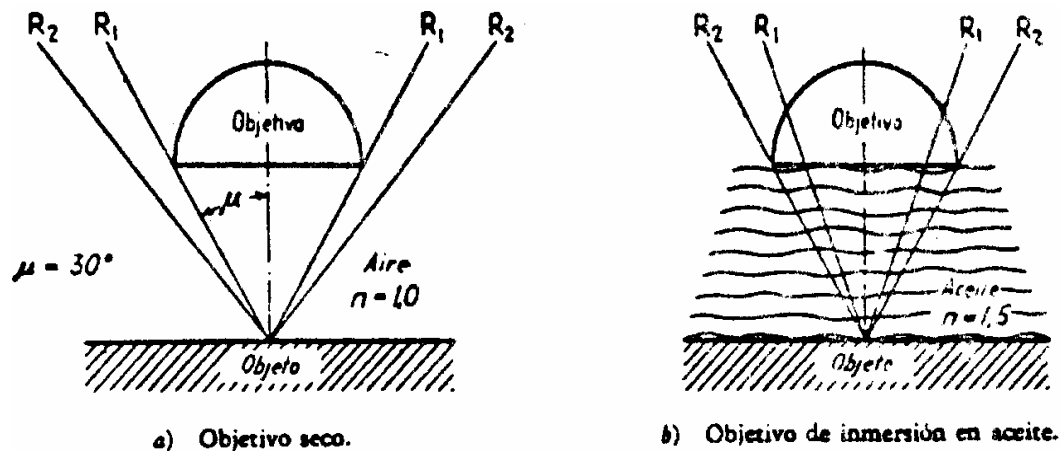


Figura 6.4: Esquema del comportamiento respecto a la apertura numérica de un objetivo seco y otro de inmersión en aceite

c) Poder de resolución

Es la capacidad de un objetivo para producir imágenes separadas y distintas de los detalles más próximos del objeto y depende fundamentalmente de la apertura numérica y de la longitud de onda de la luz empleada en la iluminación. Si toda la apertura del objetivo queda bañada por la luz, el poder de resolución se puede expresar por:

$$d = \frac{\lambda}{2.A}$$

d= distancia mínima entre dos detalles observables distintamente, expresada en las unidades de longitud que se emplean para medir la longitud de onda.

Las observaciones más cómodas requieren operar entre 500 y 1000 veces la apertura numérica. No se debe pasar más de 1000 veces la apertura numérica porque da lugar a imágenes con falta de nitidez y claridad de definición. Para la longitud de onda dada, la resolución de los detalles más finos es tanto mayor cuanto mayor sea la apertura numérica y para un objetivo dado la resolución es tanto mayor en cuanto menor sea la longitud de onda de la luz empleada.

d) Profundidad de foco

Es la capacidad para dar imágenes nítidamente enfocadas, cuando la superficie del objeto no es completamente plana. Tales superficies se encuentran en probetas metalográficas sobre atacadas o cuando ciertos constituyentes estructurales están elevados o deprimidos con relación a la superficie atacada.

e) Curvatura de campo

Todos los objetivos producen una imagen más o menos curva, lo que da lugar a que la nitidez lograda por un buen enfoque del centro del campo visual se pierda al acercarse a los bordes.

- Oculares

El ocular es un sistema de lentes cuya finalidad es aumentar la imagen primaria producida por el objetivo y hacerla visible como imagen virtual o proyectada como real, como sucede en las fotomicrografías. Los oculares son de cuatro tipos: negativos, positivos compensadores y amplificadores. (**figura 6.5**)

1) Tipos negativos: Los más representativos son los de Huygens, compuestos de dos lentes no acromáticas y plano convexas, montadas en un tubo y ambas con su lado convexo en la dirección del objetivo. Entre las dos lentes existe un diafragma, situado a la distancia focal de la lente ocular. No pueden emplearse como lupas y no dan imágenes perfectas debido a su falta de corrección óptica.

2) Tipos positivos: Un ocular positivo cuenta con varias lentes sencillas, calculadas y combinadas para que el sistema se comporte como una lente positiva única. El primer foco principal del sistema se encuentra delante de la lente de campo y por ello el sistema puede funcionar como una lupa. Se compone de dos lentes plano convexas, lente de campo y lente ocular, colocados en tal forma, sobre la montura del ocular que sus caras convexas quedan frente a frente. Para definir y limitar el campo de visión existe un diafragma al frente de la lente de campo en el plano focal equivalente del sistema.

3) Tipos compensadores: Forman un grupo de oculares corregidos cromáticamente por exceso, a fin de que puedan compensar los errores cromáticos residuales de los objetivos apocromáticos y semiapocromáticos. No se pueden emplear con los objetivos acromáticos de poco aumento, pues la sobre corrección de dichos oculares causan efectos cromáticos en la imagen final.

4) Tipo amplificadores: Están proyectados para su empleo en fotomicrografía o para la proyección a distancia relativamente corta. La pupila de salida de estos sistemas queda entre sus lentes y el objetivo y por ello no se les puede emplear para examen visual ni usar como lupas. Funcionan como si fueran parte integrante del objetivo, por cuanto entre ambos forman una imagen real única que es la que se proyecta en la pantalla.

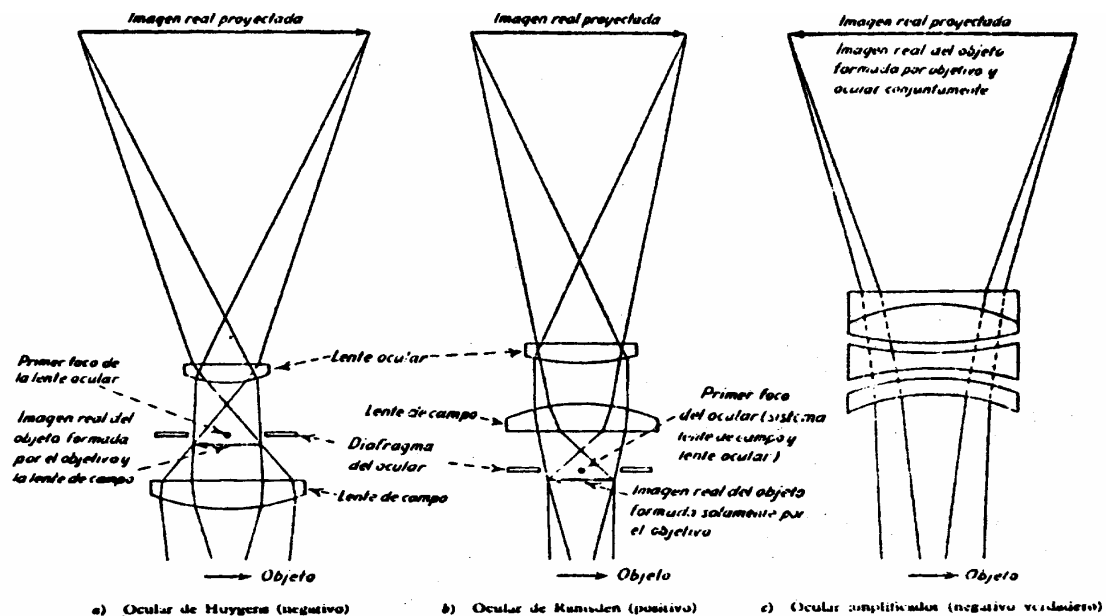


Figura 6.5: Esquema de la formación de la imagen real proyectada por los oculares empleados normalmente en la observación visual y por los amplificadores. a) Ocular de Huygens (negativo), b) Ocular de Ramsden (positivo) y c) Ocular amplificador (negativo verdadero).

- Cuidado de los elementos ópticos

Es esencial que los distintos elementos ópticos se hallen escrupulosamente limpios y libres de huellas dactilares, polvo, películas de grasa, que perjudican la calidad de las imágenes. El polvo se puede quitar de las superficies ópticas soplando aire sobre ellas, mediante una pera de goma, con un pincel de pelo blando de camello o frotando suave con una tela o papel apropiado. En estas operaciones hay que tener cuidado de no rayar la superficie ni deteriorarla por abrasión.

La grasa y las huellas dactilares se quitan frotando con una tela o papel de los citados, impregnados en xilol (nunca alcohol ni otros disolventes orgánicos), secando luego con otros papeles limpios, y finalmente, soplando aire con una pera de goma para quitar las fibras del papel. Este método es ideal para quitar el aceite que queda adherido a los objetivos de inmersión y debe realizarse inmediatamente después del uso. En ningún caso se deben desmontar los elementos ópticos, y en particular los objetivos para su limpieza. Todos los elementos ópticos se deben manipular con cuidado. No deben estar expuestos a cambios bruscos de temperatura.

- Razón objetivo-ocular

| | | | | |
|------------|------------|---|------|-----------|
| Para 100x | 10x : 10x | o | 1:1 | Aceptable |
| | 20x : 5x | o | 4:1 | Superior |
| Para 400x | 40x : 10x | o | 4:1 | Estándar |
| Para 1000x | 100x : 10x | o | 10:1 | Estándar |

- Banco Metalográfico

Es posible montar un fuelle de cámara sobre el ocular y usar el microscopio de mesa (**figura 6.6a**) para fotomicrografía; sin embargo, el metalógrafo tipo banco de la **figura 6.6b**, creado específicamente tanto para examen visual como para registrar permanente de estructuras metalográficas por métodos fotográficos, dará fotomicrografías de mayor calidad y precisión.

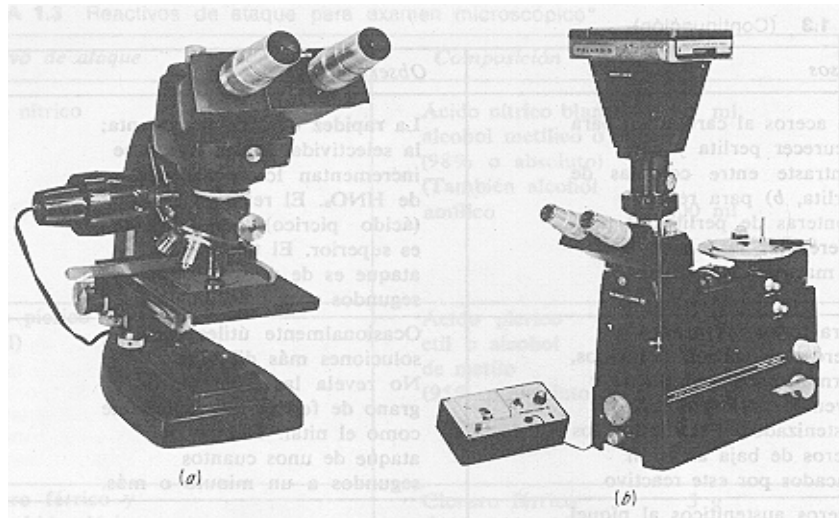


Figura 6.6: a) Microscopio metalúrgico. b) Metalógrafo tipo banco. (Bausch & Lomb, Inc.)

6.2.: Muestreo

La experiencia ha demostrado que el éxito en el estudio microscópico depende en mucho del cuidado que se tenga para preparar la muestra. El microscopio más costoso no revelará la estructura de una muestra que haya sido preparada en forma deficiente. El procedimiento que se sigue en la preparación de una muestra es comparativamente sencillo y requiere de una técnica desarrollada sólo después de práctica constante. El último objetivo es obtener una superficie plana, sin rayaduras, semejante a un espejo. Las etapas necesarias para preparar adecuadamente una muestra metalográfica se explican a continuación.

La selección de una muestra para estudio microscópico puede ser muy importante. Si lo que se va a investigar es una falla, se debe escoger la muestra más próxima al área de la falla y comparársele con una tomada de la sección normal o sana.

Si el material es suave, como metales o aleaciones no ferrosas y aceros no tratados térmicamente, la sección puede obtenerse por corte manual con una segueta. Si el material es duro, la sección puede obtenerse mediante un disco cortador abrasivo, el cual es un plato delgado fabricado de un abrasivo de tipo adecuado, que gira a alta velocidad. La muestra debe mantenerse fría durante la operación de corte.

6.3. Desbaste y pulido

- Esmerilado burdo o tosco.

Siempre que sea posible, la muestra debe ser de un tamaño fácil de manipular. Una muestra blanda se puede aplanar si se mueve lentamente hacia arriba y hacia abajo a través de la 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 agua durante la operación de esmerilado. En todas las operaciones de esmerilado y pulido, la muestra debe moverse en sentido perpendicular a las rayaduras existentes. Esto facilitará darse cuenta del momento en que las rayaduras más profundas hayan sido sustituidas por las menos profundas, características del abrasivo más fino. El esmerilado continúa hasta que la superficie quede plana y libre de mellas, rebabas, etc., y todas las rayaduras debidas al corte manual o al disco cortador no son visibles. (La **figura 6.7** muestra la superficie después del esmerilado).

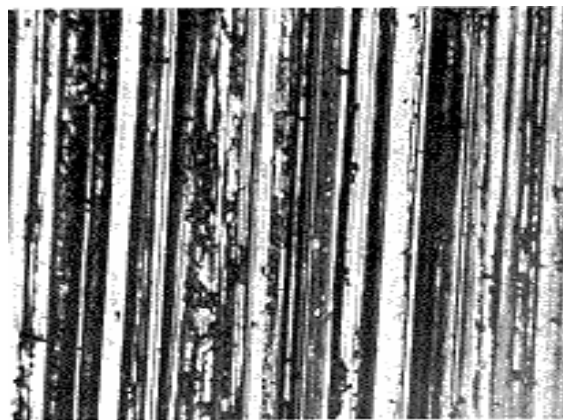


Figura 6.7: Superficie de la muestra después del esmerilado burdo, amplificación 100x.

- Montaje.

Las muestras pequeñas o de forma incómoda deben montarse de alguna manera para facilitar el pulido intermedio y final. Alambres, varillas pequeñas, muestras de hoja metálica, secciones delgadas, etc., deben montarse en un material adecuado o sujetarse rígidamente en una monta mecánica. Los materiales plásticos sintéticos que se acoplan a la muestra en una prensa para montar especial proporcionan las bases de un tamaño uniforme conveniente (generalmente de 2.5, 3 ó 4 cm de diámetro) para manipular las muestras en ulteriores operaciones de pulido. Estas bases, cuando se han hecho en forma adecuada, son muy resistentes a la acción de los reactivos de ataque que se emplean comúnmente. La resina termofijadora que más se emplea para montar muestras es la baquelita. Los polvos para moldear baquelita se fabrican en colores de este material, lo cual simplifica la identificación de las muestras montadas. La muestra y la cantidad correcta de polvo de baquelita, o una preforma de baquelita, se colocan en el cilindro de la prensa de montar. La temperatura aumenta gradualmente hasta 150°C y se aplica una presión de moldeo de unas 4000 lbs/pulg² simultáneamente. Una vez que la baquelita está adherida y curada se alcanza esta temperatura, la base con la muestra puede extraerse del dado de moldeo mientras está caliente. (**figura 6.8a**). La lucita es la resina termoplástica más común; es completamente transparente cuando se moldea en forma adecuada, como se ve en la **figura 6.8b**. Esta transparencia resulta útil cuando es necesario observar la sección exacta que se pule o cuando por cualquier otra razón se desea ver por completo la muestra en la base. Al contrario de los plásticos termofijados, las resinas termoplásticas no sufren cura a la temperatura de moldeo, sino que adquieren estabilidad al enfriarse. La muestra y la cantidad de polvo de lucita adecuadas se colocan en la prensa para montar y se someten a la misma temperatura y presión que para la baquelita (150°C y 4000 lbs/pulg²). Una vez alcanzada esta temperatura, se quita la bobina de calentamiento y las aletas de enfriamiento se colocan alrededor del cilindro para enfriar la base hasta 75°C en unos 7 min al tiempo que se mantiene la presión de moldeo. Si se saca la base todavía caliente o si se deja enfriar lentamente en el cilindro de moldeo a la temperatura ambiente sin sacarla, se opacará. Las muestras pequeñas pueden montarse en forma conveniente para prepararlas metalográficamente en un dispositivo de sujeción hecho en el laboratorio, como el de la **figura 6.8c**. Las muestras laminares delgadas, cuando se montan en tal dispositivo de sujeción, suelen alterarse con hojas metálicas "rellenadoras" de metal que tienen aproximadamente la misma dureza que las muestras. Si se usan hojas rellenas, se conservará la superficie libre de las irregularidades de la muestra y se evitará, de alguna manera, que los bordes de la muestra se redondeen durante el pulido.

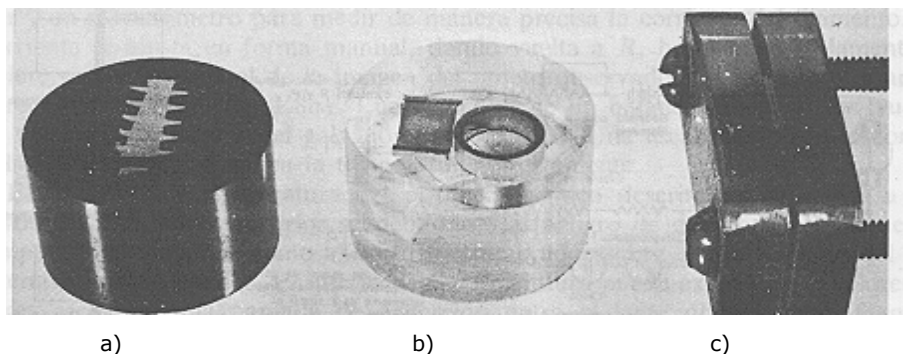


Figura 6.8: a) Muestra montada en baquelita, b) Muestra montada en lucita, c) Muestra sostenida en un dispositivo de sujeción de metal.

- Pulido intermedio

Después de montada, la muestra se pule sobre una serie de lijas con abrasivos como por ejemplo carburo de silicio. El primer papel es generalmente Nº 120, luego 220, 320, 400, 500 y finalmente 600.

La **figura 6.9** muestra la superficie después del pulido intermedio con lija de 600. Por lo general, las operaciones de pulido intermedio con lijas de esmeril se hacen en seco, sin embargo, cuando se usan abrasivos de carburo de silicio como su acabado es a base de resina se pueden utilizar lubricantes, lo que impide el sobrecalentamiento de la muestra, minimiza el daño cuando los metales son blandos y también proporciona una acción de enjuague para limpiar los productos removidos de la superficie de la muestra, de modo que el papel no se ensucie. Comparado con el papel esmeril, el carburo de silicio tiene mayor rapidez de remoción.



Figura 6.9: Superficie de la muestra después del pulido intermedio, amplificación 100x.

- Pulido fino.

El tiempo utilizado y el éxito del pulido fino dependen en mucho del cuidado puesto durante los pasos de pulido previo. 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 disponibilidad de abrasivos para efectuar el último pulido. En tanto que muchos harán un trabajo satisfactorio, parece haber 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 para pulido final que se emplean 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 tienen pelillo (como la seda) hasta aquellos de pelillo intermedio (como paño ancho, paño de brillar y lanilla) además de aquellos de pelillo profundo (como el terciopelo). También se pueden encontrar paños sintéticos para pulir con fines de pulido general, de los cuales el Gamal y el Micropaño son los que se utilizan más ampliamente. Una muestra pulida en forma adecuada mostrará únicamente las inclusiones no metálicas; además, estará libre de rayaduras (**figura nº 6.10**).

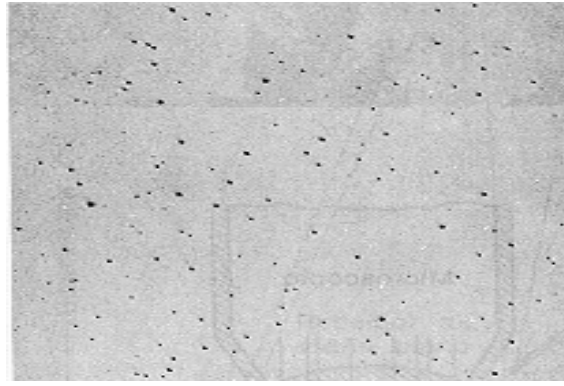


Figura 6.10: Superficie de la muestra después del pulido final, amplificación 50x. Los puntos negros son impurezas de óxido.

6.4.: Ataque.

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 microestructura. Esto se logra mediante un reactivo apropiado que somete a la superficie pulida a una acción química.

En las aleaciones compuestas de dos o más fases, los componentes se revelan durante la acción química, al atacar preferencialmente, el reactivo, a una o más de estas constituyentes debido a la diferencia en composición química de las fases (**figura 6.11a**). En las aleaciones uniformes de una sola fase o metales puros, se obtienen contrastes y las fronteras de grano se hacen visibles debido a las diferencias en la rapidez a que los diversos granos son atacados por el reactivo (**figura 6.11b**). Esta diferencia en la rapidez de ataque está asociada principalmente con el ángulo que guardan las diferentes secciones de grano con el plano de la superficie pulida. Debido al ataque químico por el reactivo, las fronteras de grano aparecerán como valles en la superficie pulida. Al chocar con orilla de estos valles, la luz del microscopio se reflejará fuera del microscopio, haciendo que las fronteras de grano aparezcan como líneas oscuras. Esto se muestra en la **figura 6.11c**.

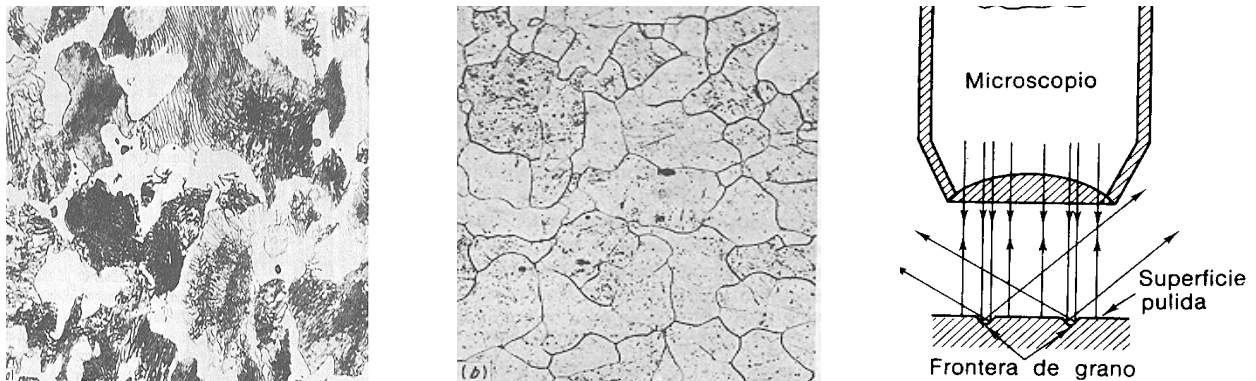


Figura 6.11: a) Fotomicrografía de la diferencia en composición química de las fases. b) Fotomicrografía de hierro puro, c) Ilustración del aspecto microscópico de las fronteras de grano que aparecen como líneas oscuras.

La selección del reactivo de ataque está determinada por el metal o aleación y la estructura específica que se desea ver. La **tabla n° 1** enumera algunos de los reactivos de ataque comunes.

Tabla N° 1. Reactivos de ataque para examen microscópico*

| Reactivo | Composición | Usos | Observaciones |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ácido nítrico (nital) | Ácido nítrico blanco: 1-5 ml Alcohol metílico o etílico (98% o absoluto) (También alcohol amílico): 100 ml | 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 ₃ . El reactivo 2 (ácido pícrico) generalmente es superior. El tiempo de ataque es de unos cuantos segundos a un minuto. |
| Ácido pícrico (picral) | Ácido pícrico: 4 g etil o alcohol de metilo (95% o absoluto): 100 ml | Para todos los grados de aceros al carbón recocidos, templados y revenidos, normalizados, 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 de unos cuantos segundos a un minuto o más. |
| Cloruro férrico y ácido hidroclicóric | Cloruro férrico: 5 g Ácido hidroclicóric: 50 ml Agua: 100 ml | Aceros austeníticos al níquel y aceros inoxidable. | |
| Hidróxido de amonio y peróxido de hidrógeno | Hidróxido de amonio: 5 partes Peróxido de hidrógeno: 2-5 partes | Generalmente empleado para cobre y muchas de sus aleaciones. | 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. |
| Persulfato de amonio | Persulfato de amonio: 10 mg Agua 90 mg | Cobre, latón, bronce, plata, níquel, bronce aluminico. | Utilizarlo frío o hirviendo; inmersión. |
| Reactivo de Palmerton | Oxido crómico: 200 g Sulfato de sodio: 15 g Agua: 1000 ml | Reactivo general para zinc y sus aleaciones. | Inmersión con agitación moderada. |
| Molibdato de amonio | Ácido molibdic(85%): 100 g Hidróxido de amonio (gr. esp. 09): 140 ml Agua: 240 ml Filtrar y añadir al ácido nítrico (gr. esp. 1.32): 60 ml | Ataque rápido para plomo y sus aleaciones; muy apropiado para remover la capa gruesa de metal trabajado. | Frotar la muestra y lavar bajo chorro de agua de manera alternada. |
| Ácido hidroflicóric | Ácido hidroflicóric: 0.5 ml (conc) H ₂ O: 99.5 ml | Examen microscópico general para aluminio y sus aleaciones. | Frotar con algodón suave por 15 s. |

* De "Metals Handbook", 1948, American Society for Metals, Metals Park, Ohio.