



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
QUERETARO.

FACULTAD DE QUIMICA.  
QUERETARO, QRO. 1991.

---

METALOGRAFIA EN COLOR DE LOS  
ACEROS HERRAMIENTA

---

TESINA.

DEL CURSO DE METALOGRAFIA CUANTITATIVA.  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE QUIMICO  
METALURGICO.

PRESENTA

MIGUEL CELADA ORENDAIN.

DIRECTOR: M. EN C. EDUARDO HURTADO DELGADO.

No. Adq.

7

No. Título

Clas.

No. Adq.

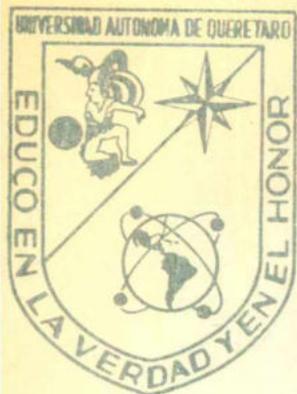
I50073

No. Título

669.950282

Clas.

C 392m



# UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO.

FACULTAD DE  
QUIMICA



BIBLOTECA

FACULTAD DE QUIMICA.  
QUERETARO, QRO. 1991.

---

## METALOGRAFIA EN COLOR DE LOS ACEROS HERRAMIENTA

---

TESINA.

DEL CURSO DE METALOGRAFIA CUANTITATIVA.  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE QUIMICO  
METALURGICO.

P R E S E N T A

MIGUEL CELADA ORENDAIN.

DIRECTOR: M. EN C. EDUARDO HURTADO DELGADO.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO.

FACULTAD DE QUIMICA.

QUERETARO, QRO. 1991.

\*\*\*\*\*  
-METALOGRAFIA EN COLOR DE  
LOS ACEROS HERRAMIENTA-

\*\*\*\*\*  
T E S I N A .  
DEL CURSO DE METALOGRAFIA CUANTITATIVA.  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE QUIMICO  
METALURGICO P R E S E N T A :  
MIGUEL CELADA ORENDAIN.

DIRECTOR: M. EN C. EDUARDO HURTADO DELGADO.

# METALOGRAFIA EN COLOR DE LOS ACEROS HERRAMIENTA.

## INDICE:

=====

<u>TEMA:</u>	<u>PAGINA:</u>
1. ALCANCE.....	1
2. OBJETIVO.....	1
3. INTRODUCCION.....	2
4. FUNDAMENTOS DEL COLOREADO DE FASES.	
4.1 DEPOSITO DE UNA PELICULA DE INTERFERENCIA.....	2
4.2 SISTEMAS MUESTRA - REACTIVO.....	4
4.3 CONSIDERACIONES GENERALES DE LOS REACTIVOS.....	5
5. IMPORTANCIA DE LA MICROESTRUCTURA EN LOS ACEROS HERRAMIENTA.	
5.1 LA MICROESTRUCTURA DE LOS ACEROS HERRAMIENTA.....	7
5.2 INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS DE ALEACION.....	10
6. DESCRIPCION Y CARACTERISTICAS DE LOS REACTIVOS DE COLOR PARA ACEROS HERRAMIENTA.	
REACTIVO DE KLEMM I.....	13
REACTIVO DE MURAKAMI.....	14
REACTIVO DE BERAHA CON HCL.....	15
PICRATO DE SODIO ALCALINO.....	16
REACTIVO DE BERAHA PARA MARTENSITA.....	17
7. CONCLUSION.....	18
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	19
9. FOTOMICROGRAFIAS EN COLOR DE ACEROS HERRAMIENTA.....	20 A 25

# "METALOGRAFIA EN COLOR DE LOS ACEROS HERRAMIENTA."

## 1. ALCANCE:

El presente trabajo incluye algunos de los reactivos de metalografía en color para los aceros herramienta de todo tipo, que son de aplicación práctica en la metalografía cuantitativa.

## 2. OBJETIVO:

Este estudio tiene como objetivo el desarrollo y establecimiento de una metodología adecuada para revelar la microestructura de los aceros herramienta, y colorear los constituyentes que son más importantes en la calidad de estos materiales, los cuales principalmente son los carburos, la austenita retenida, bainita, y la martensita no revenida.

### 3. INTRODUCCION:

Aunque en años recientes se han desarrollado un buen número de reactivos de ataque metalográfico que producen coloración de las fases, frecuentemente selectiva, en la mayoría de los textos se describen las técnicas de una manera muy general y a veces incompleta, por ejemplo, sin indicar el tiempo más adecuado de ataque o la temperatura, o sin mencionar los resultados específicos en cuanto a la coloración que adquieren las fases.

Debido a lo anterior, en el presente trabajo se llevó a cabo el desarrollo un poco más completo, de las técnicas de identificación de fases por coloración selectiva para los aceros herramienta. Se realizaron pruebas con los aceros herramienta que son de uso más generalizado actualmente.

Cabe mencionar en esta parte, como es la reproducibilidad de las técnicas de coloreado de fases. Cuando se usa un reactivo de coloreado de fases en particular, de la manera descrita por la técnica, los colores pueden diferir de lo que la literatura reporta, pero hay reproducibilidad en cuanto a las fases que se atacan y las que no se atacan.

### 4. FUNDAMENTOS DEL COLOREADO DE FASES.

4.1 Depósito de una película de interferencia.- La formación de color sobre una fase específica en la superficie de una probeta metalográfica es el resultado de un fenómeno de

interferencia de luz. Los reactivos y técnicas de coloreado de fases se basan en el depósito de una película de interferencia, cuyo espesor puede variar según la acción electrolítica entre las áreas superficiales, fases, de diferente potencial. El espesor de la película controla los colores producidos; al incrementarse el espesor, la interferencia crea colores usualmente en la secuencia: amarillo, rojo, violeta, azul y verde. '1' El mecanismo de formación de color se explica como sigue:

Los rayos de luz que inciden sobre la superficie del metal recubierto con una película de interferencia, serán reflejados por la superficie de la película y por la superficie del metal. Como un resultado de esto, se obtiene un efecto de interferencia que depende de la longitud de onda de la fuente de luz en el aire ( $\lambda$ ), el espesor de la película ( $t$ ), y el índice de refracción de la película ( $n$ ). La interferencia sucederá, siempre y cuando la ruta efectiva viajada por la luz reflejada en las superficies de la película y del metal, tengan una diferencia de un número par de  $\lambda/2$  (la mitad de la longitud de onda). La diferencia en las rutas efectivas de la luz reflejable es proporcional a dos veces el espesor de la película.

Por ejemplo, si el espesor de la película depositada es tal, que la porción verde de la luz reflejada por la superficie del metal, está exactamente fuera de fase con la luz reflejada por la película, se produce interferencia de la luz verde y el color observado será el complementario, es decir el magenta o rojo.

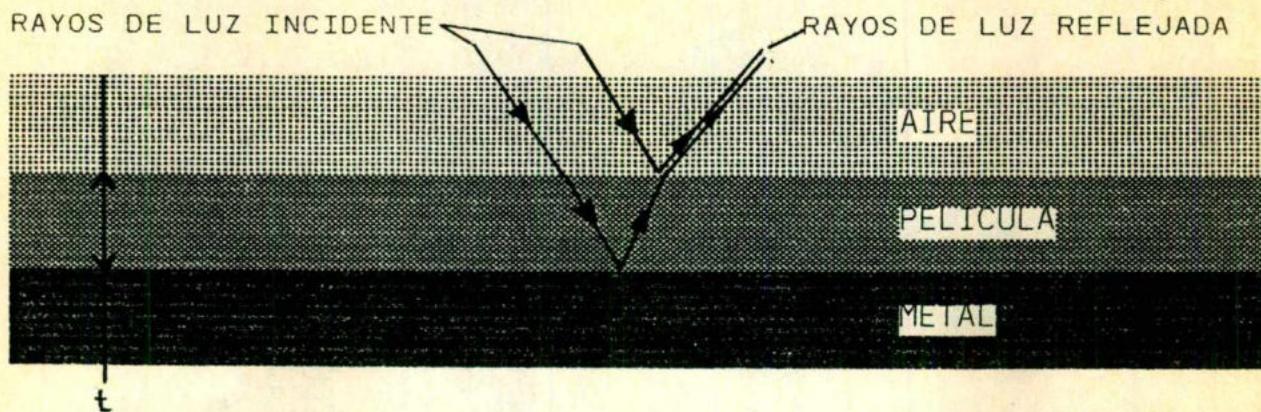


FIGURA No. 1.

4.2 Sistemas muestra - reactivo.- Los reactivos de coloreado por ataque químico son, tanto reactivos anódicos que precipitan una película delgada sobre los constituyentes anódicos para colorear sólo estas áreas, como reactivos catódicos que precipitan una película delgada sobre los constituyentes catódicos para colorear sólo estas áreas, o reactivos de acomplejación donde la película es precipitada a partir de una reacción de formación de complejos químicos. (3)

Algunos ingredientes comunes de los reactivos colorantes son el metabisulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ), metabisulfito de potasio ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) , y tiosulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ). Cuando están disueltos en agua, el metabisulfito se descompone durante el ataque, produciendo  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , y  $\text{H}_2$ , que dan un olor característico. (1)

En colorantes por ataque químico basados en estos compuestos, los constituyentes anódicos (electropositivos) - p. ej., ferrita, martensita, y austenita - se colorean, y los constituyentes catódicos (electronegativos) - p. ej., los carburos y los

nitruros - no son afectados y aparecen brillantes. Se producen diferentes tonos en los constituyentes anódicos como un resultado de la orientación cristalográfica. Los atacantes de color que contienen molibdato de sodio colorean los constituyentes catódicos por precipitación de una película de un molibdato complejo sobre estas fases. (1)

#### 4.3 Consideraciones generales de los reactivos para colorear aceros herramienta.

##### 4.3.1 Reactivos generales y de color.

Cualquiera de los reactivos de ataque general para aceros herramienta revelan los carburos y otras fases incluyendo las inclusiones. Estos reactivos de ataque sin embargo no son selectivos en cuanto a las fases que revelan. Para la identificación específica de una fase, y sobre todo para evaluar su distribución, tamaño y cantidad, se complementa el ataque del reactivo general, con la acción de un agente o reactivo, que colorea la fase de interés, ahora si de una manera selectiva.

También se tiene el caso de que sin la utilización de un reactivo de ataque general, es decir, sin preataque, el reactivo de color revele por sí solo determinadas fases de la microestructura. Esto es, que las ataque y coloree, incluso sin revelar otras fases, permitiendo el análisis metalográfico cuantitativo o cualitativo más directo o específico. Las fases como los carburos son el ejemplo más claro de las fases que se pueden colorear selectivamente, con reactivos como el de Murakami o sus derivados, lo cual se mostrará más adelante.

#### 4.3.2 Procedimientos de ataque para colorear.

Cuando se utilizan los reactivos para colorear fases por ataque químico, la mayoría son usados a temperatura ambiente, y siempre se lleva la probeta a inmersión en el reactivo, nunca se usa la aplicación de éste con algodón o con gotero, pues esto evitaría la formación de la película de interferencia, y promovería un sobreataque.

La muestra se coloca en un vaso de precipitado conteniendo aproximadamente 100 ml. de solución, y se agita suavemente mientras la superficie de la probeta se observa. La solución se agita de 20 a 40 segundos, según el reactivo que se esté usando, y después se deja sin agitación hasta que se observa el color deseado macroscópicamente, el cual es usualmente violeta.

Después la muestra es sujeta con pinzas (de preferencia de plástico), se remueve del reactivo, se enjuaga bajo un chorro de agua, se enjuaga en alcohol, y se seca con corriente de aire tibio. La superficie de la probeta no se debe tocar nunca para no destruir la delgada película de interferencia.<sup>(4)</sup>

El ataque con reactivos de metalografía en color requiere una muestra pulida de alta calidad para mejores resultados. Las superficies que aparentemente ya no tienen rayas en la condición de pulido final, pueden revelar muchas rayas después del coloreado. La película de interferencia puede revelar vivamente aún las más diminutas rayas presentes en la superficie.<sup>(4)</sup> Debido a lo anterior es muy recomendable que la preparación de los aceros herramienta se lleve a cabo puliendo con los compuestos de diamante. Sobre todo si es posible dar el pulido fino con pasta

de diamante de 1/4 de micra, y dar adicionalmente un breve pulido con alúmina de 0.05 de micra, para eliminar toda posible deformación producida por la preparación y que así no se presenten rayas.

## 5. IMPORTANCIA DE LA MICROESTRUCTURA EN LOS ACEROS HERRAMIENTA.

### 5.1 La microestructura de los aceros herramienta.

Los aceros herramienta muestran un amplio rango de microestructuras debido a sus variaciones en composición y tratamiento térmico. las principales diferencias consisten en que debido al tratamiento térmico se tienen microestructuras de recocido y microestructuras de temple.

#### Microestructuras de recocido.

Debido a que la mayoría de los aceros herramienta son relativamente duros, aún cuando están recocidos, es usualmente necesario controlar la morfología de los carburos durante el recocido para maximizar la maquinabilidad y la formabilidad. Para la mayoría de los aceros herramienta la forma de carburo esferoidal es la condición deseada, aunque para algunos pocos aceros herramienta de baja aleación ciertas operaciones de maquinado se mejoran cuando la estructura es parcialmente perlítica. (2)

La mayoría de los aceros herramienta y todos los grados de alta aleación son recocidos esferoidalmente en la acería. Para un

grado dado, la dureza disminuye cuando el grado de esferoidización incrementa. Una vez que se produce la esferoidización, el crecimiento de los carburos, que produce menos carburos por unidad de volumen y un espaciado aparentemente mayor, reduce más la dureza. En adición, muchos aceros herramienta requieren una distribución uniforme y fina de los carburos no disueltos para resistir el crecimiento de grano durante la austenización. (2)

La cantidad y tipo de carburos presentes depende del contenido de carbono total y de la cantidad de elementos formadores de carburos (cromo, molibdeno, vanadio, y tungsteno, por ejemplo). La cementita está presente en los grados al carbón y de media aleación; los carburos de tipo más complejo se encuentran en los grados altamente aleados. (2)

#### Microestructuras de temple.

Las composiciones de los aceros herramienta varían en rangos desde los aceros herramienta al carbono sin adiciones de aleantes como el acero AISI W1, hasta los aceros de alta velocidad conteniendo 20% o más en elementos de aleación.

Los aceros herramienta al carbono son hipereutectoides y contienen sólo cementita, la cual se disuelve fácilmente. Para estos aceros, la dureza máxima resulta cuando aproximadamente de 0.06% a 0.065% de carbono se lleva a disolución. Por lo tanto, la estructura inmediatamente después del temple sin austenización completa, consistirá de martensita y cementita residual; esto es, los carburos que no se disolvieron. Una pequeña cantidad de austenita residual estará presente, pero esta no será detectable

con un microscopio óptico si se usó la temperatura de austenización apropiada. '2'

En general, si la cantidad de austenita retenida es suficientemente alta para ser observable con un microscopio óptico, el acero ha sido sobreaustenizado. El revenido no convertirá grandes niveles de austenita retenida a martensita o bainita a menos que la temperatura de revenido sea más bien alta. Adicionalmente, así la austenita retenida no será suficientemente estable para aguantar la transformación a martensita inducida por choque durante el servicio. Cuando tal transformación ocurre, la matriz de alta dureza carece de suficiente ductilidad para acomodar los esfuerzos de la transformación, y se produce la fractura. '2'

Las bajas durezas después de tratamiento térmico también pueden resultar si el tamaño de la sección y la velocidad de temple son seleccionadas incorrectamente para un grado particular. Cuando la templabilidad es inadecuada para permitir un endurecimiento completo, la perlita o la bainita serán observadas en la microestructura. La ferrita puede también ser visible en los pocos aceros que son hipoeutectoides, aunque esto es menos común. '2'

Las microestructuras de los aceros herramienta que son tratados térmicamente son similares en apariencia cuando los grados son tratados apropiadamente. Las diferencias primarias son la cantidad y tipo de los carburos residuales no disueltos, los cuales influenciarán el grosor de las placas de martensita. En muchos aceros herramienta, la fase martensita es tan fina que se observa con pocos detalles. Este no es el caso para los grados

que exhiben pocos carburos residuales - por ejemplo, AISI S1, S5 y S7. Estos aceros herramienta resistentes al choque tienen menores contenidos de carbono, y casi todo éste está disuelto en la austenita. Consecuentemente, la martensita es más gruesa, con más detalles observables por microscopía óptica. <sup>(2)</sup>

## 5.2 Influencia de los elementos de aleación sobre los carburos.

Se puede clasificar a los elementos de aleación de los aceros herramienta de acuerdo a un punto de vista: la afinidad por el carbono. La cantidad de carbono que un elemento puede admitir dentro de su red cristalina depende esencialmente de las dimensiones atómicas (radio atómico) relativas del elemento. La tabla I muestra que los radios atómicos de los elementos van en disminución del titanio al níquel. El titanio, el tungsteno, el molibdeno y el vanadio pueden ser combinados con un solo átomo de carbono suficiente para formar los carburos  $TiC$ ,  $WC$ ,  $MoC$ , y  $VC$ . El carburo de cromo que contiene más carbono es el  $Cr_3C_2$ , y el carburo de manganeso que contiene más carbono es el  $Mn_7C_3$ , mientras que el hierro el cobalto y el níquel forman los carburos  $Fe_3C$ ,  $Co_3C$  y  $Ni_3C$ . De aquí es evidente que para formar los carburos, las cantidades de tungsteno, de molibdeno y de vanadio necesariamente son menores que las cantidades de cromo, de níquel, de manganeso y de cobalto (para un solo átomo de carbono). Es claro por otro lado, que los carburos más estables son los de titanio. <sup>(5)</sup> Ya que presentan solo una composición.

TABLA I.

Carburos de los elementos de aleación.

Serie Ti - Ni.

elemento:	Titanio	Vanadio	Tungsteno	Molibdeno	Cromo	Manganeso
radio at.	1.45A	1.33A	1.36A	1.36A	1.27A	1.29A
carburos:	TiC	VC	WC	MoC	Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	Mn <sub>7</sub> C <sub>3</sub>
		V <sub>2</sub> C	W <sub>2</sub> C	Mo <sub>2</sub> C	Cr <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	Mn <sub>3</sub> C
					Cr <sub>4</sub> C	Mn <sub>4</sub> C
elemento:	Hierro	Cobalto	Niquel			
radio at.	1.26A	1.25A	1.24A			
carburos:	Fe <sub>3</sub> C	Co <sub>3</sub> C	Ni <sub>3</sub> C			

Los carburos de tungsteno, de molibdeno y de vanadio son menos estables que los carburos de titanio, y más estables que los carburos de cromo pero, de las indicaciones de la tabla I, se observa que el vanadio es de más afinidad por el carbono que el tungsteno y el molibdeno. (5)

Los elementos de aleación desplazan las zonas de temperaturas de tratamiento térmico y el contenido de carbono del eutectoide. Tales desplazamientos son importantes a la vez desde el punto de vista teórico y desde el punto de vista práctico, porque estos afectan al mismo tiempo las temperaturas de tratamiento térmico y las cantidades de carburos no disueltos a una temperatura dada.

Si se define el eutectoide como la composición en la que la temperatura de austenización es la más baja, todos los elementos de aleación bajan el contenido de carbono del eutectoide. Pero se hace notar que ciertos elementos bajan la temperatura del eutectoide (Ni, Mn), mientras que los otros la elevan. '5'

La importancia práctica de este desplazamiento de contenidos de carbono aparece si se comparan dos aceros herramienta que posean el mismo contenido de carbono, pero que uno de estos tenga por ejemplo un contenido de vanadio de 0.50%. Considerando aceros de 1.10% de carbono, el acero que tiene 0.50% de vanadio mostrará una más grande cantidad de carburos no disueltos. Un examen metalográfico confirma esta previsión. Entonces, un acero al carbono de un mayor contenido en carbono que un acero con elementos favorables a la formación de carburos, puede poseer la misma cantidad de carburos insolubles, (factor preponderante de la resistencia a la abrasión). '5'

PROPIEDAD DE LA FACULTAD  
DE QUÍMICA DE LA U.A.B.

DESCRIPCION Y CARACTERISTICAS DE LOS REACTIVOS DE COLOR PARA  
ACEROS HERRAMIENTA.

REACTIVO DE KLEMM I .

COMPOSICION:

- 50 ml. de solución saturada acuosa de tiosulfato de sodio  
( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ). \*

- 1 g. de metabisulfito de potasio ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ).

\* máxima solubilidad del tiosulfato de sodio es 50 g. en 100 ml.  
(anhidro), y el  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  es de 79.4 g. en 100 ml. a 0°C.

PROPIEDADES:

Este reactivo se utiliza para colorear la ferrita de azul o rojo magenta y café claro, según la orientación cristalina y el tiempo de ataque, la cementita y la austenita no son afectadas por el reactivo, también colorea la martensita de café aunque no uniformemente. Este reactivo se utiliza preferentemente con un preataque con nital. Revela la segregación de fósforo quedando esta de color blanco y delimitada. Revela también las zonas de sobrecalentamiento. También colorea la perlita de los aceros de mayor contenido de aleantes, de tonos que van del azul al café y magenta. La luz polarizada acentúa la vivacidad de los colores y el contraste entre diferentes zonas. Los tiempos de ataque varían de 40 a 100 segundos.

## REACTIVO DE MURAKAMI .

### COMPOSICION:

- 10 g. de KOH.
- 10 g. de  $K_3Fe(CN)_6$ .
- en 100 ml. de  $H_2O$ .

### PROPIEDADES:

El reactivo de Murakami se puede utilizar en frío, es decir a temperatura ambiente, o caliente, y los tiempos de ataque pueden ser hasta de 10 minutos. En frío, obscurece los carburos de cromo y los que contienen tungsteno, la cementita casi no se ataca o es atacada escasamente, pero en caliente si la ataca. La matriz de martensita o de ferrita permanece sin atacar.

A  $20^{\circ} C$  los tiempos de ataque pueden ser de 7 a 60 segundos revelando los carburos. Utilizando temperaturas de  $80^{\circ} C$  o a ebullición por 2 minutos obscurece los carburos, aunque los tiempos de ataque varían según el contenido de aleantes. Un tiempo de ataque recomendable es 60 segundos en caliente. Los sulfuros pueden quedar coloreados de azul en los aceros de alto contenido de azufre. Este reactivo se puede utilizar sin preataque de la muestra. Además éste no ataca la austenita. Se recomienda utilizarlo fresco.

## REACTIVO DE BERAHA C/HCl.

### COMPOSICION:

- 0.5 a 1.0 ml. de HCl.
- 100 ml. de H<sub>2</sub>O.
- 1 g. de K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (metabisulfito de potasio).

### PROPIEDADES:

Este reactivo es conocido como colorante de Beraha para hierro, acero y aceros herramienta. Principalmente colorea la ferrita de azul en diferentes tonos según el tiempo de ataque, y la perlita en varios colores, desde el café al verde y azul claro según la orientación. En el caso de los aceros herramienta, la aplicación más importante es que colorea de café o simplemente oscurece la martensita, dejando claros los carburos y permitiendo su cuantificación en analizadores de imágenes. También colorea la bainita en diversos tonos de café. Los colores de este reactivo se intensifican con la luz polarizada. Este reactivo requiere un preataque con picral de 10 a 60 segundos. Disminuye su efectividad por ejemplo al día siguiente. El tiempo de ataque recomendado para aceros herramienta templados y revenidos es aproximadamente 30 segundos. Se debe agitar vigorosamente durante el ataque y casi al final se deja sin mover hasta observar la coloración de la superficie.

## PICRATO DE SODIO ALCALINO.

### COMPOSICION:

- 2 g. de ácido pícrico.
- 25 g. de NaOH.
- 100 ml. de agua.

### PROPIEDADES:

Normalmente se emplea por inmersión de la muestra en la solución en ebullición por 1 o hasta 15 minutos. Colorea la cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) en tonos que van del café oscuro al negro. No ataca la cementita que tiene cantidades substanciales de cromo. Ataca el carburo  $\text{Fe}_4\text{W}_2\text{C}$  y a los sulfuros.<sup>4</sup> Deja sin colorear los carburos grandes como los de vanadio. Este reactivo no requiere preataque.

También se puede usar electrolíticamente a 6 volts de corriente directa, a  $20^\circ\text{C}$ , y con densidad de corriente de 0.5 a 2 amperes por pulgada cuadrada ( $\text{A/pulg.}^2$ ), por un tiempo de 30 a 120 segundos.

## REACTIVO DE BERAHA PARA MARTENSITA.

### COMPOSICION:

- 8 a 15 g. de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  (metabisulfito de sodio).
- 100 ml. de agua.

### PROPIEDADES:

Este es uno de los reactivos más sencillos, sobre todo para obscurecer una matriz martensítica de un acero herramienta, y dejar los carburos claros y sin colorear para cuantificarse por analizador de imágenes. Normalmente obscurece la martensita recién templada es decir sin revenir, dejando sin afectar los carburos y los fosfuros, con una inmersión en el reactivo hasta por 20 segundos. Pero también se obscurece un poco o queda coloreada de café en varios tonos la martensita normalmente templada y revenida. Este reactivo requiere un ligero preataque con nital, que en el caso de algunos aceros herramienta de alta aleación, puede ser nital de 4% o hasta del 10% (nital de más del 5% no se debe almacenar).

## CONCLUSION:

El conjunto de técnicas y generalidades de metalografía en color para aceros herramienta, que se incluyen en este trabajo, constituyen en si una utilidad para el análisis de las propiedades microestructurales de estos aceros, complementándose entre si. Es decir, si por ejemplo se desea hacer mediciones cuantitativas de carburos, el primer paso sería utilizar un reactivo de color para cuantificar el total de carburos presentes obscureciendo la matriz. Después, se complementaría el análisis usando otros reactivos para colorear selectivamente algunos de los carburos, y así identificarlos y cuantificarlos para sacar las fracciones porcentuales de cada tipo de carburos.

En el transcurso de este estudio se probaron otras técnicas y reactivos, y los que aquí se presentan, son los que por su sencillez se pueden complementar a si mismos, y además se pueden implementar como procedimientos estándar, aplicados a problemas específicos, a la vez complementando técnicas como el Análisis Computarizado de Imágenes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- 1.- APPLIED METALLOGRAPHY.  
GEORGE F. VANDER VOORT,  
VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY, NEW YORK. 1986.
- 2.- VOLUMEN 9 - "METALLOGRAPHY & MICROSTRUCTURES",  
METALS HANDBOOK - 9a EDICION,  
AMERICAN SOCIETY FOR METALS.  
METALS PARK, OHIO. 1985.
- 3.- COLOR METALLOGRAPHY.  
E. BERAHA, AND B. SHPIGLER.  
AMERICAN SOCIETY FOR METALS,  
METALS PARK, OHIO. 1977.
- 4.- METALLOGRAPHY: Principles and Practice.  
GEORGE F. VANDER VOORT,  
McGRAW-HILL BOOK Co.,  
NEW YORK, 1984.
- 5.- "ACIERS D'OUTILLAGE" (Aceros Herramienta).  
J. P. GILL, G. A. ROBERTS,  
H. G. JOHNSTIN, BURNS GEORGE.  
EDITORIAL DUNOD, FRANCIA 1951,  
Págs. 268-273.  
(versión francesa del original titulado "TOOL STEEL").



FIGURA # 1.

Acero herramienta AISI S1, recocido total. Microestructura de perlita fina 100% donde cada zona de perlita muestra diferentes colores, que van del azul al amarillo, café y violeta, según la orientación cristalográfica de la ferrita en la red de perlita. Reactivo de Klemm I, 100 segundos de ataque, preataque con nital, iluminación con luz polarizada. Aumento: 100X.

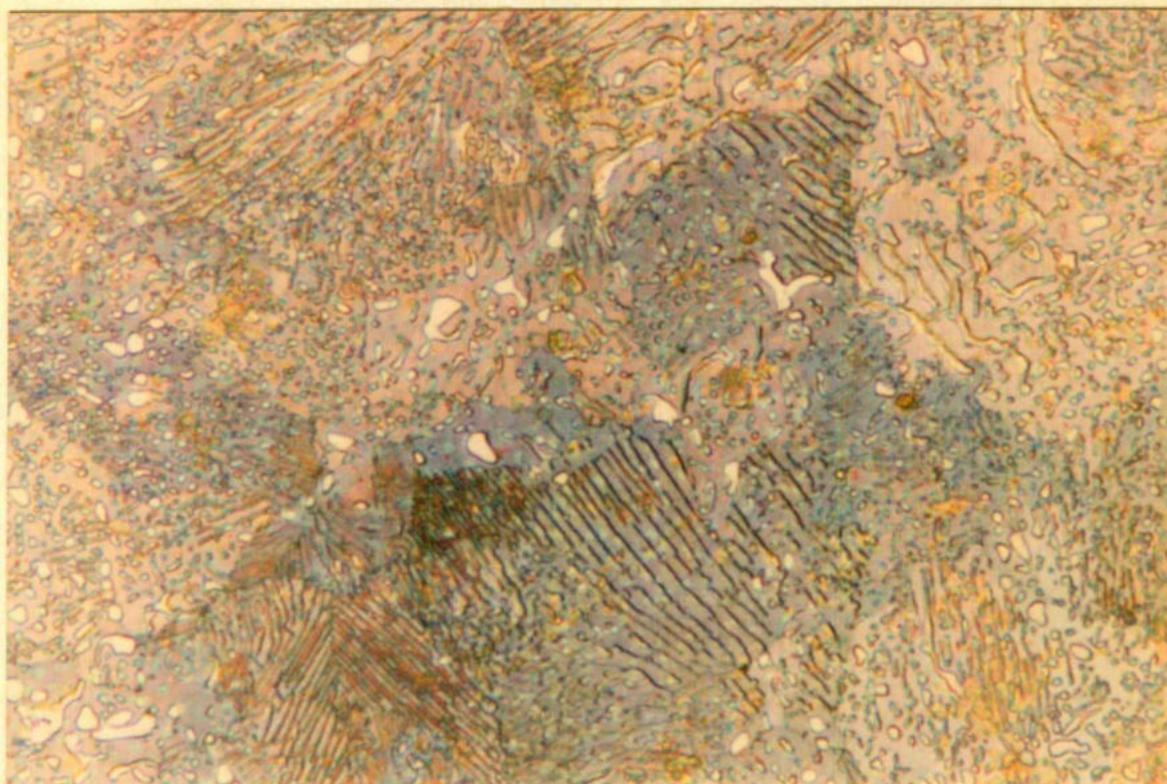


FIGURA # 2.

Acero herramienta AISI O1, recocido de globulización parcial. microestructura de matriz ferrítica con carburos globulares y láminas de cementita. Los granos de la ferrita se se colorean de diferentes tonos de azul o violeta según la orientación cristalina, y los carburos permanecen sin colorear, las láminas de cementita más estrechas aparentemente son oscuras por su tamaño. Reactivo de Klemm I, 80 segundos de ataque, preataque con picral. Aumento: 1000X.

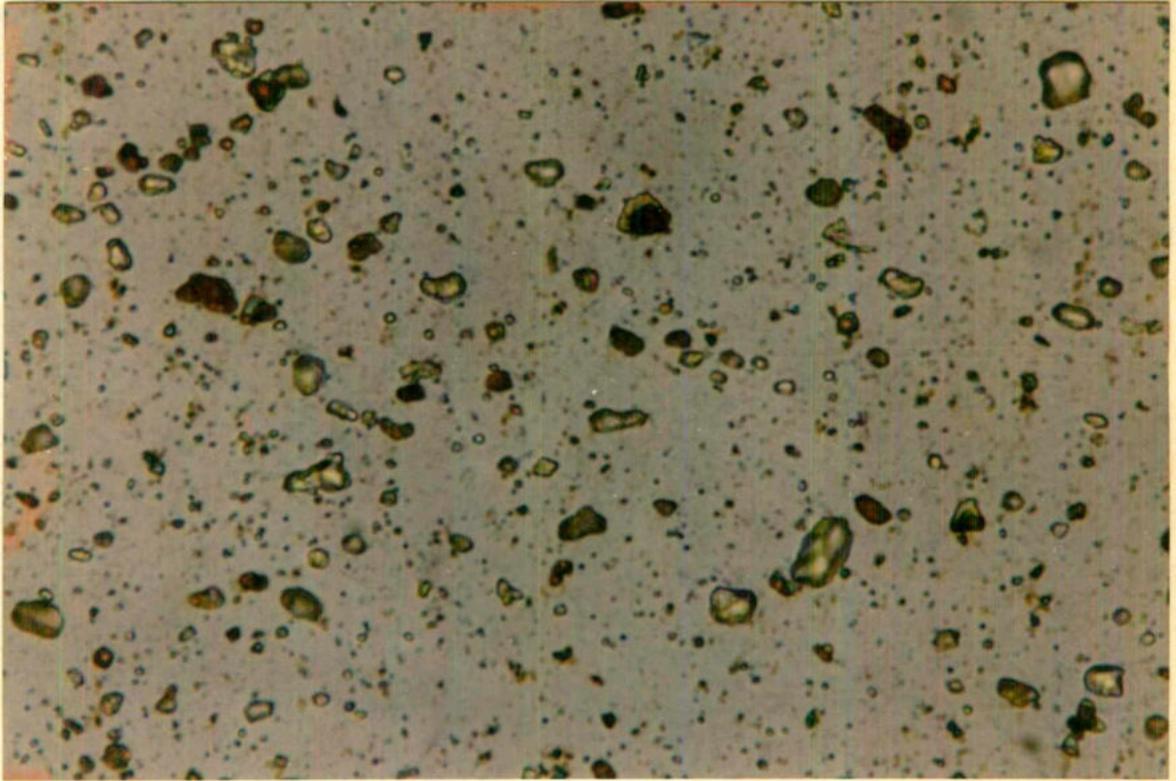


FIGURA # 3.

Acero herramienta AISI M2, templado y revenido (segueta alta velocidad). Matriz martensítica 100% sin revelar, únicamente se atacan los carburos quedando obscurecidos los de cromo del café al naranja, y hay carburos claros probablemente de tungsteno y/o de vanadio. Reactivo de Murakami en ebullición, ataque de 60 segundos, sin preataque. Aumentos: 1000X.

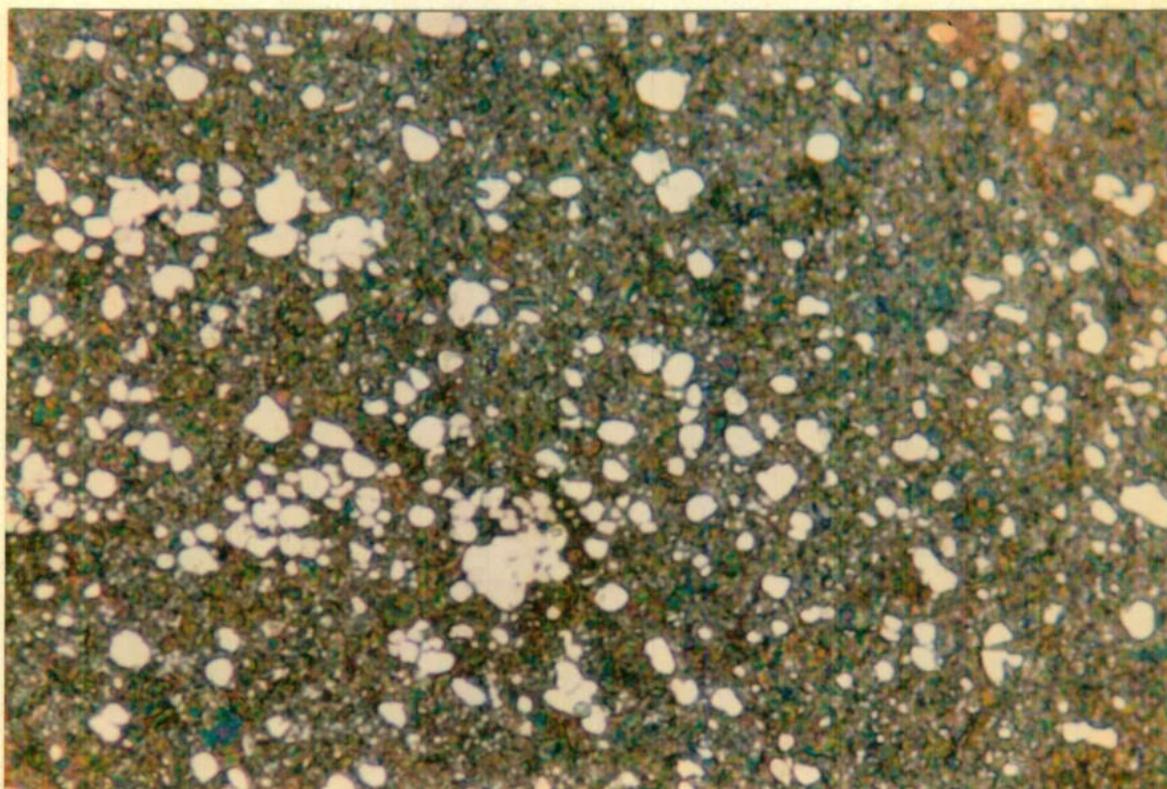


FIGURA # 4.

Acero herramienta alta velocidad AISI M2, templado y revenido. La matriz de martensita fina se obscureció coloreándose de diferentes tonalidades, principalmente de café y verde oscuro, dejando todos los carburos sin colorear (blancos) para permitir una mejor cuantificación. Reactivo de Beraha con HCl, 25 segundos de ataque, preataque con picral. Aumentos: 1000X.

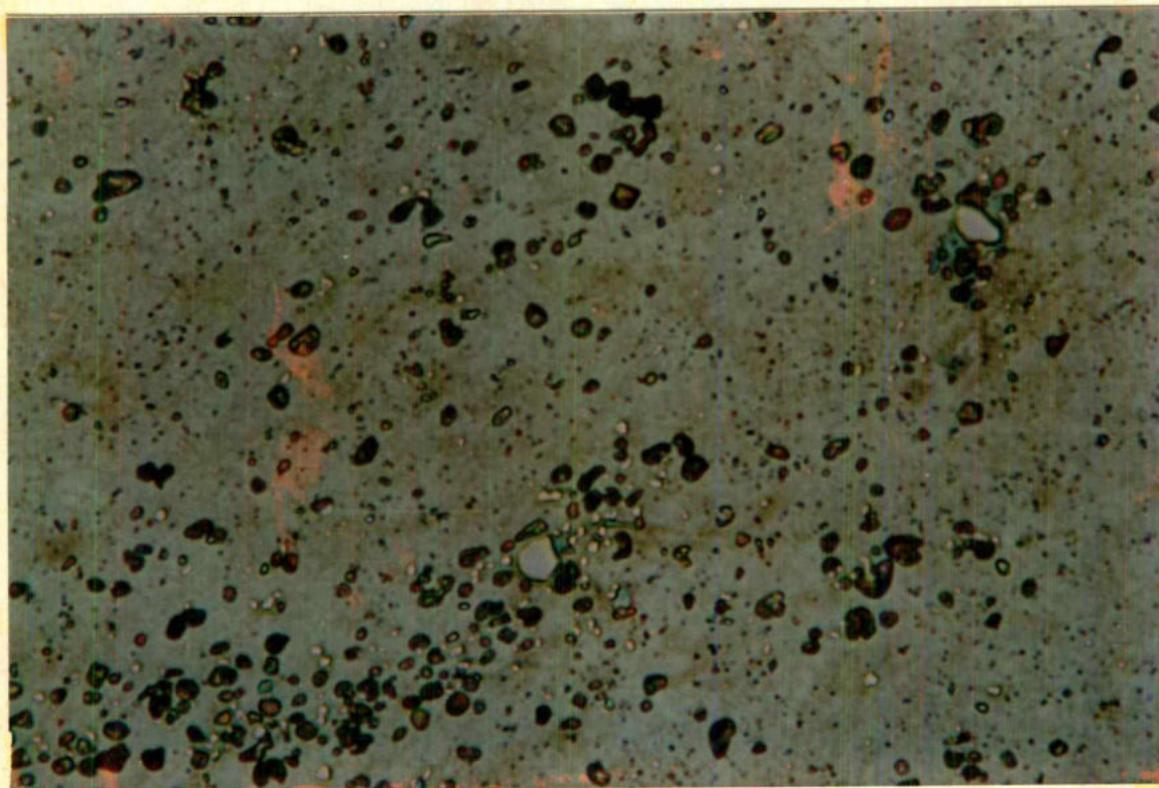


FIGURA # 5.

Acero para herramienta AISI M2, templado y revenido. La microestructura presenta carburos de hierro y molibdeno, los cuales se observan de colores oscuros del café al negro. Y también hay carburos blancos, los pequeños posiblemente de tungsteno y los grandes de vanadio. La matriz permanece sin ataque. Reactivo de Picrato de sodio alcalino en ebullición 10 minutos de ataque, sin preataque. Aumentos: 1000X.

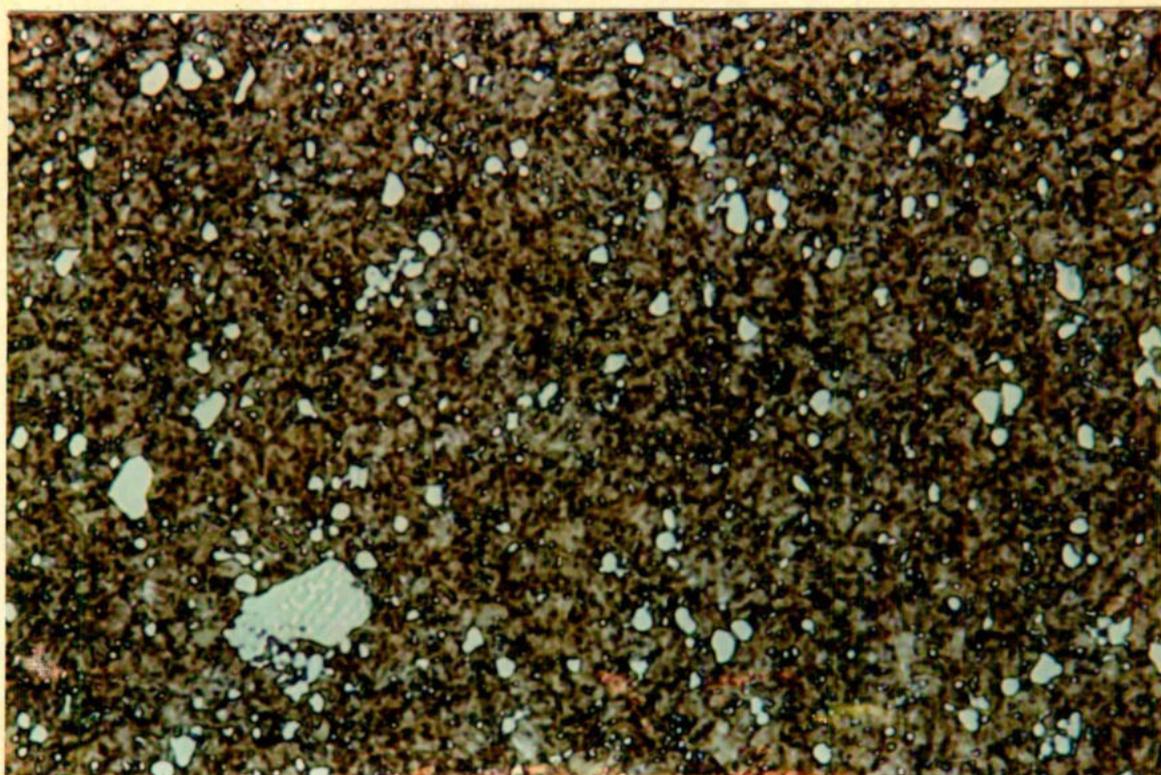


FIGURA # 6.

Acero para herramienta AISI M2 templado y revenido. La matriz de martensita fina está obscurecida a diversos tonos de café oscuro dejando todos los carburos de color claro (blancos y algunos ligeramente azules). Reactivo de Beraha para martensita (14 g. de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  en 100 ml. de  $\text{H}_2\text{O}$ ), 8 segundos de ataque, preataque con nital. Aumentos: 1000X.