

19
2ej



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE QUIMICA

EXAMEN DE CALIFICACION
DEL TITULO

"INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO DE REVENIDO
EN LA CORROSION DE MICROESTRUCTURAS
OBTENIDAS POR TEMPLE"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P R E S E N T A

MIGUEL ANGEL RIOS SANTOS



MEXICO, D. F.

1998

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado asignado

Presidente: Prof. Guillermo Salas Banuet

Vocal: Prof. Joan Genescá Llongueras

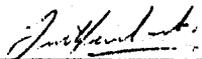
Secretario: Prof. Ignacio Beltrán Piña

Primer suplente: Prof. Arturo Alejandro Sánchez Santiago

Segundo suplente: Prof. Carlos Rodríguez Rivera

Sitio donde se desarrolló el tema:
Laboratorios de Metalurgia Física y Corrosión.
Facultad de Química, U.N.A.M.

Asesor del tema:



I.Q.M. Guillermo Salas Banuet

Supervisor Técnico:



Dr. Joan Genescá Llongueras

Sustentante:



Miguel Ángel Ríos Santos

Dedicatorias:

A Dios:

Que con su infinito amor y sabiduría cobija y reconforta a todo áquel que lo busca.

A mis abuelos:

Sr. Don Celestino Santos (q.e.p.d.) y Natividad Ordaz Vidua de Santos por sus cuidados, consejos y sobre todo por su amor.

A mis padres:

Noé Santiago y Angéla Santos por su decidido apoyo y confianza.

A Nora, Ariadna, ...

ii Las (os) amo mucho !!.

A mis tíos:

Rafael Paredes e Ignacia Santos por su insistencia, consejos y regaños.

A Tom y Gena

Por su ejemplo y amistad.

Agradecimientos:

Al I.Q.M. Guillermo Salas B.:

Con admiración e infinita gratitud por su confianza, así como su valiosa colaboración y apoyo incondicional.

Al Dr. Joan Genescá:

Por su visión clara y concisa y su valiosa aportación.

Al I.Q.M. Ignacio Beltrán P.:

Por su tiempo y valiosas sugerencias.

A Todos mis maestros:

De cuya fuente de sabiduría yo bebí.

¡ Uló-ni gana Viche !

(Expresión en Zapoteco que traducido es: Echa le ganas hermano)

I N D I C E

CAPITULO		PAGINA
I	RESUMEN	3
II	INTRODUCCION	5
III	FUNDAMENTACION TEORICA	
	III.1 METALURGIA FISICA	
	- MARTENSITA	7
	- MORFOLOGIAS DE LA MARTENSITA	8
	- REVENIDO	11
	- VARIABLES PRICIPALES	12
	- CAMBIOS ESTRUCTURALES	13
	III.2 ELECTROQUIMICA	
	- CORROSION. DEFINICION	16
	- MECANISMO DE DISOLUCION DE UN ACERO AL CARBONO	18
IV	DESARROLLO EXPERIMENTAL	
	IV.1 METALURGIA FISICA	
	- SECCION 1	21
	IV.2 PRUEBA DE CORROSION	
	- SECCION 2	23

CAPITULO		PAGINA
V	RESULTADOS Y DISCUSION	27
VI	CONCLUSIONES	34
VII	BIBLIOGRAFIA	35
VIII	APENDICE	
	A. TABLAS	38
	B. FOTOMICROGRAFIAS	40
	C. MATERIAL, EQUIPO Y SUSTANCIAS UTILIZADAS	43

CAPITULO I

RESUMEN

RESUMEN

El comportamiento ante la corrosión de los aceros se puede explicar, entre otros parámetros, a través de la comprensión de la relación existente entre la microestructura y el medio corrosivo

La finalidad del presente trabajo es investigar el comportamiento de los aceros 1045, 1060 y 1090 después de ser sometidos a los tratamientos térmicos de temple y revenido, con el objeto de cambiar sus microestructuras, ante un medio corrosivo como el H_2SO_4 mediante la técnica de pérdida de peso; por ser ésta la más conocida y aceptada en la industria nacional.

Para distinguir la influencia de la microestructura sobre la velocidad de corrosión, se hicieron cinco determinaciones experimentales de 48 horas cada una, debido a que la velocidad de corrosión puede aumentar, disminuir o permanecer constante con el tiempo (las probetas sumergidas en una solución de H_2SO_4 0.1 M, con cambio de solución cada 48 horas) calculándose la velocidad de corrosión gravimétricamente.

La tendencia mostrada por los tres aceros ante el medio corrosivo es que a medida que aumenta la temperatura de revenido, la velocidad de corrosión disminuye.

La presencia de la estructura martensítica sin revenido, muestra la mayor velocidad de corrosión.

Se discute la posible influencia del tipo de martensita en las diferencias encontradas en el comportamiento de los aceros ante la corrosión.

CAPITULO II
INTRODUCCION

INTRODUCCION

Existe poca información en la literatura sobre el efecto causado por las diversas microestructuras, que puede presentar un mismo acero con una composición química definida, en su comportamiento ante un medio corrosivo. El revenido de la estructura martensítica de un acero al carbón produce cambios estructurales dependiendo de varios factores entre los cuales se encuentran: La temperatura del tratamiento, el tiempo de permanencia a esa temperatura y el contenido de carbón inicial que determina un cierto tipo de martensita.

La microestructura de los aceros templados a diferentes temperaturas difiere básicamente en el tamaño de la placa martensítica.

Los cambios estructurales durante el revenido involucran una eliminación del exceso de defectos cristalinos, una precipitación del carbono sobresaturado y una paulatina transformación de la estructura tetragonal centrada en el cuerpo a la cúbica centrada en el cuerpo, estable, que implica una serie de cambios en las superficies relativas de los precipitados y la matriz.

Todo lo anterior se debe reflejar en una variación en su comportamiento ante la corrosión.

El propósito de este trabajo es, investigar el comportamiento de las estructuras de los aceros 1045, 1060 y 1090 después de ser sometidos a los tratamientos térmicos de temple, desde las temperaturas de

austenización de 775 °C y 875 °C y revenido, a las temperaturas de 150, 250, 350, 450 y 600 °C, ante un medio corrosivo como lo es una solución de H₂SO₄ 0.1 M. mediante la técnica de pérdida de peso.

CAPITULO III
FUNDAMENTACION TEORICA

III. 1 METALURGIA FISICA

Un acero es normalmente definido como una aleación de hierro y carbono, con un contenido de carbono menor de 2.06 % en peso.

Los aceros pueden exhibir una extensa variedad de propiedades mecánicas dependiendo de la composición, así como también, de las fases y microconstituyentes presentes, las cuales a su vez dependen del tratamiento térmico (1).

El tratamiento térmico es usado normalmente para producir una microestructura determinada y propiedades mecánicas asociadas tales como tensión, ductilidad, dureza, etc (2).

Enseguida, se describen las propiedades de las fases y las principales características que forman la microestructura de los aceros templados y revenidos.

Martensita

Si se calienta un acero en la región austenítica y luego se enfría a una velocidad suficientemente alta, ocurre una transformación martensítica.

La martensita es el microconstituyente típico de los aceros templados. Se admite que está formado por una solución sólida sobresaturada de carbono o carburo de hierro en hierro alfa.

Su contenido de carbono suele variar generalmente desde pequeñas trazas hasta 1.0 % en peso y algunas veces, en los aceros hipereutectoides suele ser más elevado.

Sus propiedades físicas varían con su composición, aumentando su dureza, resistencia y fragilidad con el contenido de carbono.

Después de los carburos y la cementita, es el constituyente más duro de los aceros, su dureza es de 50 a 60 HRC.

Al parecer son los átomos de carbono en la martensita los causantes de la deformación de la red cúbica de hierro alfa, que se transforma en tetragonal; teniendo el paralelepípedo elemental dos lados iguales y el tercero que es un poco mayor, guarda con los otros dos una relación que varía desde 1.06 a 1.00 cuando el contenido de carbono disminuye de 1.0 % a 0 % aproximadamente (3).

Morfologías de la martensita

En las aleaciones base hierro, la fase martensítica presenta generalmente una de dos morfologías distintivas: Martensita de listón (también conocida como: masiva, dislocación, célula, paquete) y Martensita de placa (o acicular, maclada, lenticular). En algunos aceros de alta aleación se observa una tercera morfología: Martensita de hoja.

En los aceros al carbono, la morfología de las martensitas cambia con el contenido de éste, forman predominantemente una martensita de listón por

debajo de 0.6 % de carbono en peso y una martensita de placa por encima
de 0.6 %.(4)

Esto se resume en la tabla I.

CONTENIDO DE CARBONO	MORFOLOGIA	CARACTERISTICAS
Hasta 0.6 %	De listón o laja	Alta densidad de dislocaciones ($10^{12}/\text{cm}^2$) Bordes entre lajas de bajo ángulo
0.6 - 1.0 %	Mixta (Listón y Placa)	Disminuyen las lajas, aumentan las placas
Mayor de 1.0 %	De placa	Placas a distintos ángulos. Línea intermedia a la placa. Presencia de malla. Disminución de dislocaciones

T A B L A I

MORFOLOGIA DE LA MARTENSITA SEGUN EL CONTENIDO DE CARBONO (5,6)

El modo de formación de estos dos tipos de martensita ferrosas es bastante distinto. La formación de la martensita de listón o laja se caracteriza por el crecimiento de listones paralelos adyacentes. Algunas veces un grupo de listones crece simultáneamente de alguna manera "cooperativa" como un arreglo y algunas veces crecen sucesivamente por nucleación y crecimiento paralelo a los primeros listones formados

En la martensita de placa, las primeras placas formadas crecen a través de los granos de austenita completos. Las placas adicionales se forman, en la austenita restante por nucleación y crecimiento entre las primeras placas formadas y los límites de grano. Conforme se divide la austenita por la formación de la martensita de placa, las regiones de austenita se hacen más pequeñas y las placas formadas se vuelven más pequeñas. Por lo tanto, en la martensita de placa se tienen placas no paralelas con variaciones de tamaño relativamente grandes, mientras que en la martensita de listón se tiene, principalmente, formación de listones paralelos con tamaños de listón relativamente uniformes dentro de paquetes (4).

Revenido

El revenido de un acero es un proceso en el cual, el acero previamente templado es usualmente calentado a una temperatura por debajo de la temperatura crítica y enfriado a una velocidad adecuada primeramente para aumentar la ductilidad y la tenacidad, pero también para aumentar el tamaño de grano de la matriz. Los aceros son revenidos por recalentamiento después de un temple para obtener valores de propiedades mecánicas

específicas, para relevar tensiones y para asegurar una estabilidad dimensional.

VARIABLES PRINCIPALES

Las variables asociadas con el revenido que afectan la microestructura y las propiedades mecánicas de un acero templado son: temperatura de revenido, tiempo de permanencia, velocidad de enfriamiento, composición del acero, elementos aleantes y elementos residuales.

En un acero templado, con una microestructura consistente esencialmente de martensita, la red de hierro es tensionada por los átomos de carbono, produciendo una alta dureza. Durante el calentamiento, los átomos de carbono se difunden y reaccionan en una serie de etapas distintas que eventualmente forman Fe_3C o algún otro carburo en una matriz ferrítica. Las propiedades de un acero revenido son determinadas primeramente por el tamaño, forma, composición y distribución de los carburos que se forman con una pequeña contribución de la ferrita. Estos cambios en la microestructura usualmente disminuyen la dureza, la resistencia a la tensión, pero también aumentan la ductilidad y la tenacidad.

Con pocas excepciones, el revenido se hace a temperaturas entre 175 y 705°C y para tiempos de 30 minutos a 4 horas.

Cambios estructurales

Basados en estudios de rayos X, dilatométricos y microestructurales, estas son las etapas de revenido y los intervalos de temperatura:

Etapa I. La formación de los carburos de transición y la disminución del contenido de carbono en la martensita a 0.25% (100-250°C). La estructura tetragonal se transforma en cúbica. También desaparecen algunas tensiones introducidas en el temple. El carburo épsilon (carburo de transición) cristaliza en el sistema hexagonal; su fórmula es $Fe_{2.4}C$. Esa cristalización del carburo épsilon se realiza en los límites de los subgranos heredados de la austenita, los cuales se siguen manifestando en la martensita.

Etapa II. La transformación de la austenita retenida a ferrita y cementita, desaparecen más las tensiones. Se presenta sólo cuando aparece austenita retenida en la microestructura del acero templado.

Etapa III. Se reemplazan los carburos de transición y la martensita de bajo carbono por cementita (250-350°C) y desaparecen por completo las tensiones macroscópicas producidas por el temple y las tensiones microscópicas asociadas a la estructura martensítica (7). Estos cambios se resumen en la tabla II.

Es natural que los cambios en la forma y distribución del carburo durante el revenido influyan mucho en la dureza de acero. Parece lógico que la dureza en general disminuya a medida que se eleva la temperatura de revenido, ya que la coalescencia y crecimiento de las partículas de carburo aumentan las

zonas de ferrita sin interferencia de dichas partículas que se oponen a la translación.

Al aumentar progresivamente la temperatura del acero se forma primero un precipitado de cementita en los límites de las agujas de martensita y también en su interior. Luego, al aumentar la temperatura, se redisuelve la cementita del interior de las agujas mientras se engruesa, en cambio, la cementita que envuelve a la martensita. Al continuar elevándose todavía más la temperatura, se va rompiendo la envolvente de cementita, que se va presentando cada vez más discontinua en las zonas límites de las agujas de martensita iniciales. Al progresar el calentamiento, la coalescencia y globulización de la cementita prosigue, y a 600°C con grandes aumentos, es ya clara y definida y la matriz queda ya constituida por ferrita. Al final, la martensita se ha transformado en cementita y ferrita (1).

TEMPERATURA	ACERO DE MEDIO CARBONO	ACERO DE ALTO CARBONO
0-250 °C	El C permanece en posición intersticial. Poco C permanece atrapado en dislocaciones Se forma carburo épsilon coherente intergranular finamente disperso	Se forma carburo épsilon, crece la martensita queda con bajo contenido de C.
200-300 °C	Descomposición de austenita retenida y precipitación de Fe_3C , ferrita y bainita	Descomposición de austenita retenida y precipitación de Fe_3C , ferrita y bainita
350-600 °C	Fenómenos de recuperación Eliminación de bordes de bajo ángulo Formación de ferrita equiaxial Recristalización formando ferrita y carburos esferoidales.	Precipitación de cementita Leve recristalización Carburos esferoidales se engrosan y crece la ferrita equiaxial

TABLA II

CAMBIOS MICROESTRUCTURALES EN EL REVENIDO A DISTINTAS TEMPERATURAS (5,6)

III. 2 ELECTROQUIMICA

Corrosión

La corrosión se puede definir como la reacción de un metal con el medio ambiente con el consiguiente deterioro de sus propiedades físicas. Este es un proceso espontáneo cuyas reacciones de corrosión ocasionan que los metales regresen a sus menas originales (8).

Para que ocurra el fenómeno de la corrosión, es necesario que se cumplan cuatro requisitos:

Que exista un ánodo,

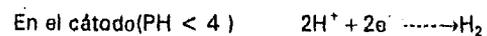
Que exista un cátodo,

La presencia de un electrolito y

Un conductor eléctrico.

Con los cuales se establece una "pila" de corrosión, en donde se llevan a cabo reacciones anódicas y catódicas.

En forma general las reacciones que se producen son:



La corrosión u oxidación de un acero se puede deber fundamentalmente a las heterogeneidades que se encuentran presentes tales como: bordes de

grano, fases distintas, impurezas tales como inclusiones o debidas a la segregación (8).

Se asegura que la corrosión localizada siempre comienza en algún tipo de inclusión no metálica (9,10,11,12,13) donde los pequeños precipitados de MnS y FeS juegan un papel importante provocando que la matriz cercana a los sulfuros, particularmente activos, reaccione.

Las inclusiones del tipo sulfuro, pueden actuar como cátodos locales y el sulfuro de manganeso con sulfuro de hierro en solución sólida, pueden ser perjudiciales, dada su alta conductividad eléctrica (14).

Sin embargo, el tratamiento térmico hace que disminuya el número total de inclusiones por coalescencia y las inclusiones activas se vuelven inactivas debidos a cambios en la composición; por lo tanto, disminuye el número de centros de ataque de corrosión (2).

Estudios realizados (15,16,17) sobre la influencia de un medio agresivo, como el H_2SO_4 , sobre la fase perlítica y ferrítica, concuerdan que el mecanismo que opera es el siguiente:

Al sumergir un acero en un electrolito, la perlita dispersa en la matriz ferrítica actúa como un microcátodo eficiente, estableciendo un par galvánico con la ferrita, siendo la pieza misma el conductor eléctrico. Esto se ilustra en la figura 1

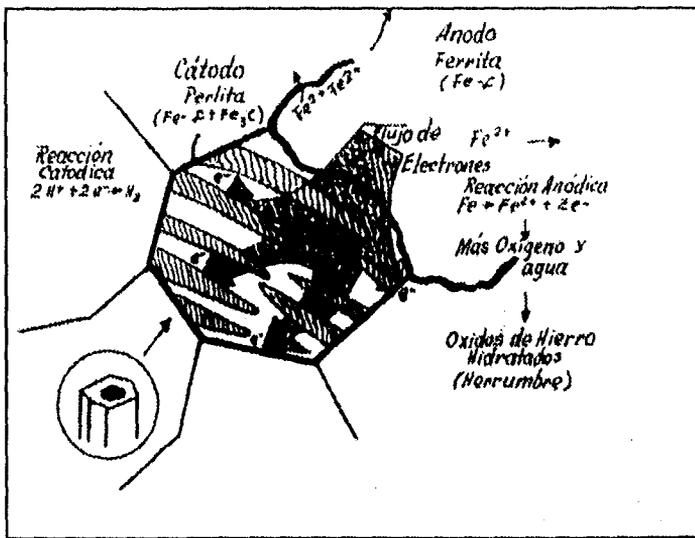


FIGURA 1 .- MECANISMO DE DISOLUCIÓN DEL ACERO AL CARBÓN

En soluciones ácidas, el Fe_3C se comporta catódicamente con respecto a la matriz de hierro alfa (ferrita) (3).

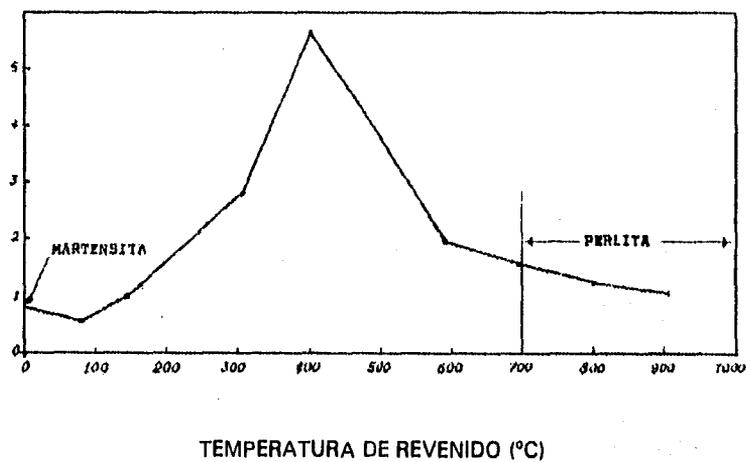
No obstante lo anterior, Cron y Col (15) determinaron que la fase de carburo de hierro es atacada más rápidamente que la ferrita, bajo ciertas condiciones de potencial en medio oxidante.

Según Heyn y Bauer (17), a temperaturas entre 316 y 317 °C existe un aumento considerable de corrosión debido a la producción de una superficie óptima entre los carburos y la matriz para un flujo galvánico (Gráfica 1)

GRAFICA 1

EFFECTO DEL TRATAMIENTO TERMICO SOBRE LA CORROSION PARA UN ACERO CON 0.95% DE CARBONO, SEGUN HEYN Y BAUER.

PERDIDA DE PESO (g) EN 72 H.



CAPITULO IV
DESARROLLO EXPERIMENTAL

El trabajo experimental se llevó a cabo en dos secciones; en la primera se describe el desarrollo referente a la metalurgia física; esto es, se describen los tratamientos térmicos a los cuales fueron sometidas las probetas y la manera en que éstas se caracterizaron; en la segunda, se describe la prueba de corrosión a la que se sometieron las mismas.

Sección 1

Se preparan 12 probetas de cada acero, las cuales se pulen y se cobrizan adecuadamente, con la finalidad de evitar la descarburización.

Con las 36 probetas se forman dos grupos, conteniendo el mismo número de probetas cada uno: 6 de acero 1045, 6 de 1060 y 6 de 1090

El grupo I se trabaja bajo las siguientes condiciones:

Temperatura de austenización: 775 °C

Tiempo de permanencia: 30 minutos

Medio de temple: Agua

El grupo II bajo las siguientes:

Temperatura de austenización: 875 °C

Tiempo de permanencia: 30 minutos.

Medio de temple: Agua

Ambos grupos, debidamente identificados, se desbastan, se pulen y se atacan con nital 3. Se hace el estudio metalográfico para identificar el tipo de martensita obtenido en cada caso. Se toman fotomicrografías.

Se vuelven a pulir y a cobrizar.

Del grupo I se forman 6 paquetes de 3 probetas cada uno, conteniendo cada paquete 1 probeta de cada acero.

Se hace lo mismo con el grupo II.

Los paquetes se tratan bajo las siguientes condiciones:

Paquetes IA y IIA: Testigos

Paquetes IB y IIB: Revenidos a 150°C

Paquetes IC y IIC: Revenidos a 250°C

Paquetes ID y IID: Revenidos a 350°C

Paquetes IE y IIE: Revenidos a 450°C

Paquetes IF y IIF: Revenidos a 600°C

El tiempo de permanencia a la temperatura de revenido fue de 30 minutos.

Se pulen y se atacan con nital 3. Se observan bajo el microscopio para identificación de microestructuras y se toman fotomicrografías.

Cabe señalar que antes de practicarles los tratamientos térmicos, las 36 probetas fueron perforadas, con la finalidad de suspenderlas dentro del medio corrosivo (como medio corrosivo se utiliza H_2SO_4 0.1 M.).

Sección 2

Las 36 probetas se pulen lo mejor posible.

Se disponen 6 vasos de precipitados en el orden y contenido siguientes:

Primero: agua destilada, segundo: solución desengrasante, tercero: agua destilada, cuarto: solución para el decapado, quinto: agua destilada, sexto: acetona.

Se introducen las probetas, una a la vez, en cada uno de los vasos de precipitados en el orden señalado y se registran sus pesos en una balanza analítica, con una precisión de décimas de miligramos, antes de comenzar la experimentación.

Se llenan 36 frascos de vidrio con la solución de H_2SO_4 0.1 M. Se suspende cada probeta con un cordel, de la tapa del frasco y se sumerge dentro de la solución sin eliminar el O_2 .

Se mantiene así durante una primera determinación experimental de 48 horas. Pasado este tiempo se sacan y se limpian, una por una, las probetas con un cepillo dental para eliminar los productos de la corrosión y se les hace pasar por los 6 vasos de precipitados mencionados e inmediatamente se sumergen en una solución nueva. El tiempo en que se llevó a cabo este procedimiento no se considera dentro del período de 48 horas, el cual empieza a contarse a partir de que se introduce la probeta en la solución.

Este mismo procedimiento se repite durante cuatro determinaciones más y al finalizar éstas se registran los pesos.

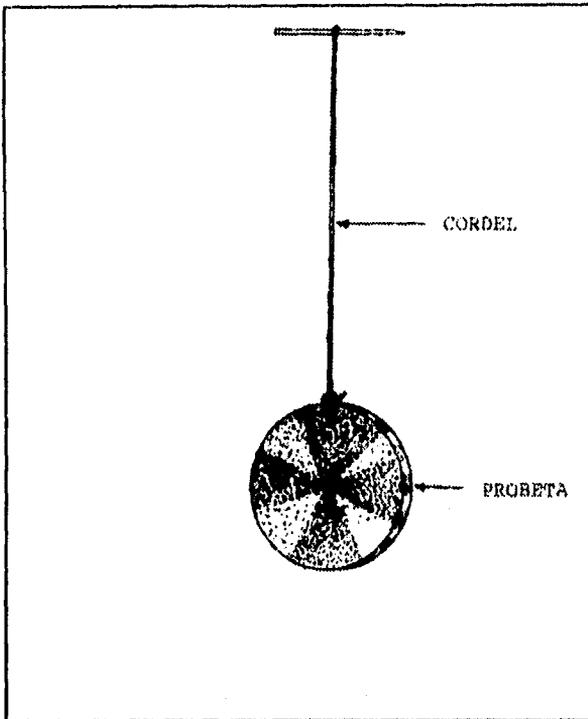


FIGURA 2.- ESQUEMA DEL ELECTRODO DE TRABAJO.

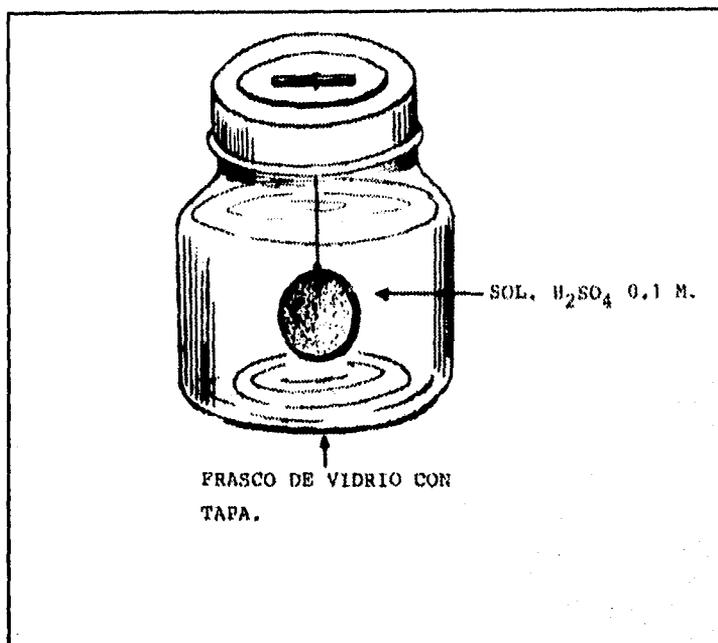


FIGURA 3.- MONTAJE DEL ELECTRODO DE TRABAJO

CAPITULO V
RESULTADOS Y DISCUSION

Resultados del tratamiento térmico de temple

El acero 1045 presenta una estructura martensítica tipo listón o laja y austenita retenida para los dos tratamientos. Existe una diferencia en el tamaño de los listones obtenidos, siendo de mayor longitud los de la temperatura de austenización de 875°C, debido a que los granos de austenita son más grandes. (Apéndice B)

El acero 1060 muestra en su estructura martensita mixta (listón y placa) y austenita retenida. Los tamaños coinciden con la anotación del acero 1045. (Apéndice B)

El acero 1090 presenta, predominantemente, martensita de placa y austenita retenida. Las placas de martensita obtenidas desde la temperatura de austenización de 875 °C son de mayor tamaño que las obtenidas desde la temperatura de austenización de 775°C por las razones antes expuestas. (Apéndice B)

Los datos, para el cálculo de las velocidades de corrosión, aparecen en las tablas III, para la temperatura de austenización de 775°C, y IV, para la temperatura de austenización de 875°C, donde se tienen: La temperatura de revenido, el área inicial, el peso inicial y el peso final para cada acero. (Apéndice I)

Las tablas V, para la temperatura de austenización de 775 °C, y VI, para la temperatura de austenización de 875°C, muestran: La temperatura de

revenido, la pérdida de peso y la velocidad de corrosión correspondientes a cada acero.

En las gráficas 2, para la temperatura de austenización de 775 °C, y 3, para la temperatura de austenización de 875 °C, se grafican: La velocidad de corrosión contra la temperatura de revenido; de estas dos últimas gráficas puede verse lo siguiente:

El acero 1045, sin tratamiento térmico de revenido, presenta la mayor velocidad de corrosión en relación a los aceros 1060 y 1090, ésto puede deberse a la presencia de una alta densidad de dislocaciones y a superficies de bordes entre las laminas de bajo ángulo (5,6) en esta estructura, lo que según West(8) favorece fundamentalmente la corrosión.

El acero 1045 templado desde 875°C, presenta menor velocidad de corrosión que el templado desde 775 °C, debido posiblemente a la diferencia de tamaño entre los listones, siendo más grandes los obtenidos desde 875°C, lo que implica una menor superficie de bordes entre las laminas de bajo ángulo y un menor número de dislocaciones. Con bajas temperaturas de revenido y al recuperarse el material, existe una tendencia a que esas características sean eliminadas, disminuyendo la velocidad de corrosión.

El acero 1090, sin revenido, presenta velocidades de corrosión ligeramente inferiores al acero 1045 sin revenido, esto debido posiblemente a que como menciona Reed-Hill (3) existen deformaciones microscópicas asociadas con la formación de las placas martensíticas; se cree que esas pequeñas

deformaciones sean las responsables del comportamiento de dicho acero ante la corrosión. El templeado desde 775°C, así como el templeado desde 875°C prácticamente no muestran cambio en su velocidad de corrosión durante el revenido, desde 0°C hasta 600°C. Su estructura martensítica de placa, la poca presencia de dislocaciones y los cambios a microestructuras más estables, podrían explicar su comportamiento casi constante ante la corrosión.

El acero 1060, sin tratamiento térmico de revenido, presenta la menor velocidad de corrosión en relación a los aceros anteriores; además se observa que durante el tratamiento térmico, una vez superada la etapa I de revenido y al comienzo de la etapa III, éste es, a partir de los 250°C, temperatura a la cual tienden a desaparecer completamente las tensiones macroscópicas producidas por el temple y las microscópicas, inherentes a la estructura martensítica, hay un ligero descenso en la velocidad de corrosión, que después se mantiene casi constante hasta los 600°C, lo cual viene a reforzar lo señalado por West (8).

La tendencia mostrada por los tres aceros ante la corrosión es que, a medida que la temperatura de revenido aumenta, la velocidad de corrosión disminuye.

El comportamiento de estos tres aceros, con diferentes temperatura de revenido, no presenta semejanza con el acero reportado por Heyn y Bauer, por lo que los cambios microestructurales durante el tratamiento térmico influyen menos drásticamente en la velocidad de corrosión que lo encontrado por dichos autores.

TEMPERATURA DE REVENIDO (°C)	PERDIDA DE PESO (mg)	VELOCIDAD DE CORROSION (mmpa)
	ACERO 1045	
0	2 089.4	15.5
150	1 965.1	14.1
250	2 069.1	13.8
350	1 883.7	12.8
450	1 925.4	12.5
600	1 902.6	12.4

ACERO 1060

0	2 101.5	12.3
150	1 889.3	12.1
250	2 003.5	11.9
350	1 932.9	11.7
450	1 930.3	11.4
600	1 733.3	10.4

ACERO 1090

0	1 450.2	14.2
150	1 465.9	13.9
250	1 425.5	13.6
350	1 361.3	13.5
450	1 384.9	13.1
600	1 344.7	12.7

T A B L A V

TEMPERATURA DE AUSTENIZACION: 775°C

TEMPERATURA DE REVENIDO (°C)	PERDIDA DE PESO (mg)	VELOCIDAD DE CORROSION(mmpa)
	ACERO 1045	
0	2 012.5	14.2
150	2 073.3	14.0
250	1 908.3	12.5
350	2 009.5	12.5
450	1 883.3	12.2
600	1 094.7	8.0

ACERO 1060

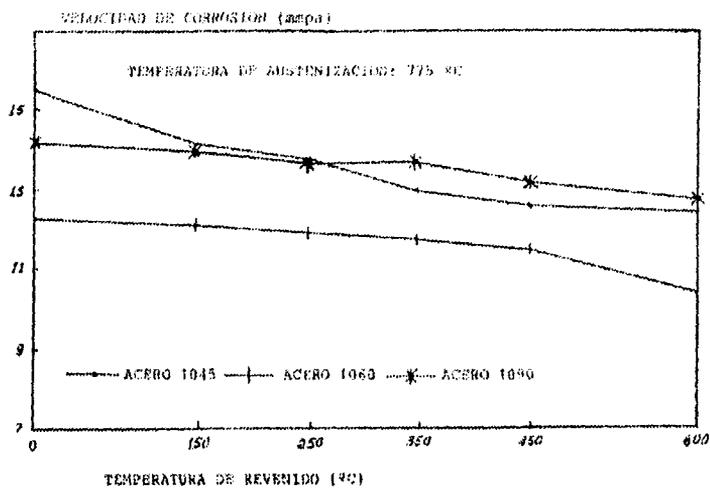
0	2 027.4	13.1
150	2 002.2	12.0
250	1 976.0	11.7
350	1 776.6	11.7
450	1 930.9	11.7
600	1 955.2	11.6

ACERO 1090

0	1 504.4	13.9
150	1 468.6	13.8
250	1 395.3	13.8
350	1 482.9	13.4
450	1 381.1	12.8
600	1 307.6	12.6

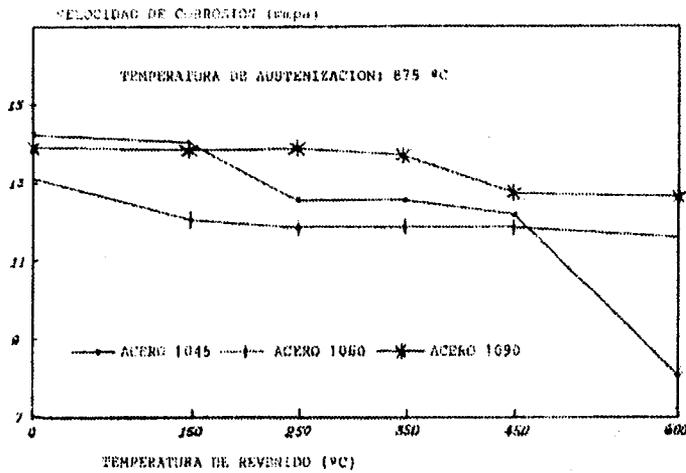
TABLA VI

TEMPERATURA DE AUSTENIZACION: 875 °C



GRAFICA 2

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE REVENIDO SOBRE LA VELOCIDAD DE CORROSION PARA LOS ACEROS 1045, 1060 y 1090



GRAFICA 3

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE REVENIDO SOBRE LA VELOCIDAD DE CORROSION PARA LOS ACEROS 1045, 1060 y 1090

CAPITULO VI
CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Con los resultados experimentales obtenidos, se puede concluir lo siguiente:

1. La estructura martensítica, sin tratamiento térmico de revenido, presenta mayor velocidad de corrosión que las estructuras con revenido para los tres aceros.
2. Existe una ligera tendencia a que una estructura martensítica de listón o laja, presente una mayor velocidad de corrosión que una estructura martensítica de placa y ésta a su vez, presente mayor velocidad de corrosión que una estructura martensítica mixta.
3. Para todos los aceros existe la tendencia de que a medida que la temperatura de revenido aumenta, la velocidad de corrosión disminuye.

CAPITULO VII
BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- 1.- APRAIZ Barreiro J.
Tratamientos térmicos de los aceros
Ed. Dosat, 8a edición, Madrid, 1974
- 2.- DURAN Maldonado Francisco Javier
Efecto de la microestructura sobre la resistencia a la corrosión de un acero al carbono
Tesis, UNAM, México, 1990
- 3.- REED-HILL Robert E
Principios de metalurgia física
Ed. Cecsá, 2a edición, México, 1982 pp. 585, 602-607
- 4.- VERHOEVEN John D
Fundamentos de metalurgia física
ED. Limusa, 1a edición, México, 1987
- 5.- PORTER D. A. and Easterling
Phase transformation in metals and alloys
Van nostrand, 1981
- 6.- KUMAR Sinha A.
Ferrous physical metallurgy
Butterworths, 1989
- 7.- METALS Handbook
Heat treating
Vol. 4, 83 edition
American Society for Metals, USA, 1961

8.- WEST John M.

Corrosión y oxidación. Fundamentos

Ed. Limusa, México, 1986, pp. 19-28

9.- HOMER C. E.

The influence of non-metallic inclusions on the corrosion of steels.

Carnegie scholarships, Nem. 1932, pp. 35-37

10.- WHITELEY J. H.

Inclusions in a series of bath samples from an electric furnace and a note on sulfides

In 7th. report on the heterogeneity of steel ingots. spec. rep. N° 16,
Iron and Steel Inst., London 1937, pp. 23-55

11.- WRANGLÉN G.

Active sulphides on the pitting corrosion of carbon steels

Int., Conf. on localized corrosion, Williamsburgh, Dec., 1981

12.- WAGNER G. H., Desretre a., Coriu H., Grall L.

Initiation des piquures sur les aciers inoxydables austénitiques au chrome et au nickel du type 18/10 en solution de chlorure de sodium.

Com. Rend. Acad. Sc. Paris, 1970, pp. 1093-1096

13.- SZKARSKA-Smiałowska Z.

Influence of sulphide inclusions on the pitting corrosion of steels

Corrosion, 28. 1972. pp. 38-96

14.- WRANGLÉN G.

Inverkan av Inneslutningar av mangan-och järnsulfid på korrosionsegenskapermahos järn och stal.

Korr.O.Ytskydd.3- 4, 1968. pp. 35-37

15.- CRON C. J. Payer J. H. and Staehle R. W.

Dissolution behavior of Fe-Fe₃C structures as a function of pH,
potential and anion, an electron microscopic study.

Corrosion-Nace, Vol. 27, N° 1, January 1987, pp. 1-24

16.- TOMASHOV N. D.

Theory of corrosion and protection of metals

Mc Millan, Co. N. Y. 1966

17.- FOROULIS Z. D.

Corrosion

Sep. 5, 1965, pp. 89

18.- HEYN E. and Bauer O.

Iron and Steel Inst.

Vol 79 1909

CAPITULO VIII

APENDICE

APENDICE A

T A B L A III

TEMPERATURA DE AUSTENIZACION: 775 °C

TEMPERATURA DE REVENIDO (°C)	AREA INICIAL(in ²)	PESO INICIAL(mg)	PESO FINAL(mg)
ACERO 1045			
0	0.972	5 536.6	3 497.2
150	1.002	5 801.6	3 836.5
250	1.082	6 547.1	4 478.0
350	1.058	5 617.6	3 733.9
450	1.106	6 307.5	4 382.1
600	1.104	6 442.7	4 540.1
ACERO 1060			
0	1.232	7 127.6	5 026.1
150	1.123	5 920.3	4 031.0
250	1.214	7 788.8	5 785.3
350	1.187	6 365.5	4 432.6
450	1.222	7 723.0	5 792.7
600	1.200	7 496.4	5 763.1
ACERO 1090			
0	0.747	1 487.2	37.0
150	0.762	1 549.2	83.3
250	0.755	1 521.5	96.0
350	0.723	1 419.8	58.5
450	0.765	1 512.5	127.6
600	0.765	1 518.7	173.7

T A B L A I V

TEMPERATURA DE AUSTENIZACION: 875 °C

TEMPERATURA DE REVENIDO (°C)	AREA INICIAL(in ²)	PESO INICIAL(mg)	PESO FINAL(mg)
ACERO 1045			
0	1.019	6 004.0	3 991.5
150	1.065	5 528.5	3 455.2
250	1.098	6 587.8	4 679.5
350	1.158	6 817.4	4 807.9
450	1.116	6 436.3	4 553.0
600	0.990	5 100.2	3 195.5
ACERO 1060			
0	1.113	5 951.7	3 924.3
150	1.203	6 245.6	4 243.4
250	1.218	6 784.1	4 808.1
350	1.093	6 101.0	4 330.4
450	1.191	7 339.5	5 408.6
600	1.214	7 193.3	5 238.1
ACERO 1090			
0	0.780	1 583.8	79.4
150	0.770	1 536.5	67.9
250	0.772	1 404.0	8.7
350	0.800	1 631.4	148.5
450	0.780	1 476.0	94.9
600	0.750	1 486.3	178.7

APENDICE B

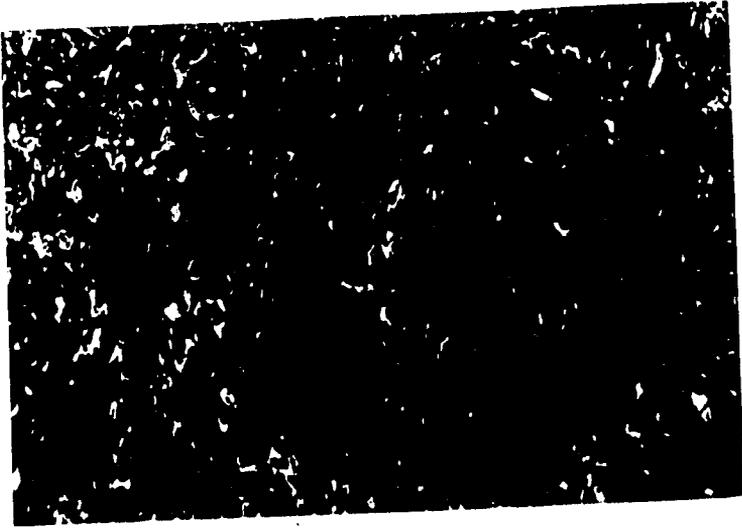


Figura 4 a).- Fotomicrografía del acero 1045 austenizado a 775 °C y templado en agua. 400 X.

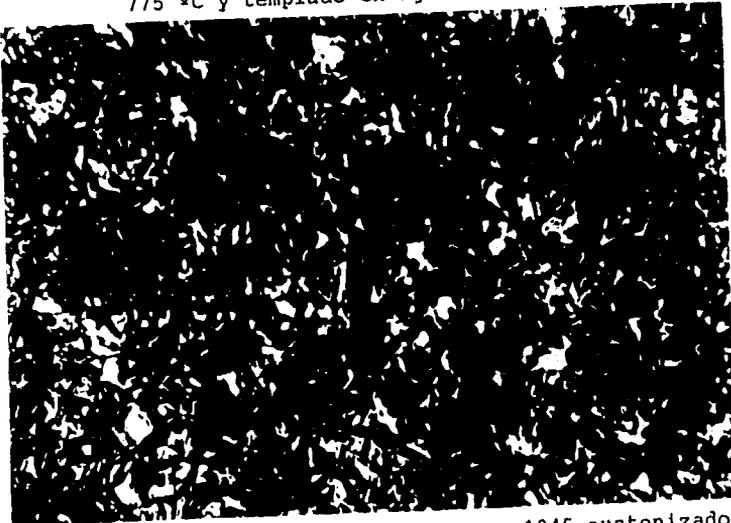


Figura 4 b).- Fotomicrografía del acero 1045 austenizado a 875 °C y templado en agua. 400 X.



Figura 5 a).- Fotomicrografía del acero 1060 austenizado a 775 °C y templado en agua. 400 X.



Figura 5 b).- Fotomicrografía del acero 1060 austenizado a 875 °C y templado en agua. 400 X.

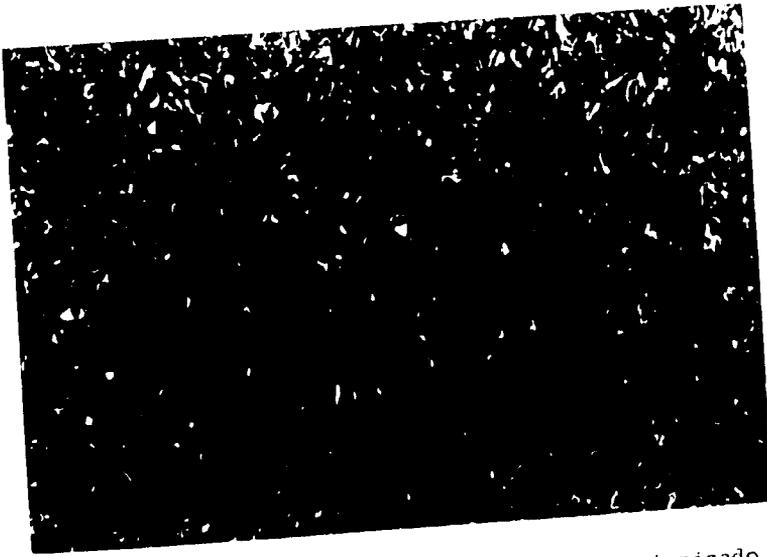


Figura 6 a).- Fotomicrografía del acero 1090 austenizado a 775 °C y templado en agua. 400 X.



Figura 6 b).- Fotomicrografía del acero 1090 austenizado a 875 °C y templado en agua. 400 X.

APENDICE C

MATERIAL, EQUIPO Y SUSTANCIAS UTILIZADAS

MATERIAL Y EQUIPO:

- ACEROS 1045, 1060 y 1090 REDONDOS
- CORTADORA
- DESBASTADORA
- TALADRO
- BROCA DE 3/32"
- VASOS DE PRECIPITADOS
- MUFLA TERMOLYNE 1500
- PULIDORA
- MICROSCOPIO OPTICO OLYMPUS
- CAMARA FOTOGRAFICA DE 36 mm.
- 36 FRASCOS DE VIDRIO GERBER CON TAPA
- PALILLOS
- CORDEL
- BALANZA ANALITICA
- CEPILLO

SUSTANCIAS UTILIZADAS

- SOLUCION SATURADA DE $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- NITAL 3
- SOLUCION DE H_2SO_4 0.1 M
- HCl CONCENTRADO
- HEXAMETILTETRAMINA
- AGUA DESTILADA
- ACETONA
- SOLUCION DESENGRASANTE
- ALCOHOL