

BIBLIOTECA FAC. DE QUIMICA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

FACULTAD DE QUIMICA.

"CONTROL DE CALIDAD Y LABORATORIO EN UNA PLANTA DE LAMINACION

DE PERFILES Y ACEROS ESTIRADOS EN FRIO"

JUAN DE DIOS PEREZ CONDE.

QUIMICO METALURGICO.

1967



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.

210

BIBLIOTECA FAC. DE QUIMICA

PEREZ CONDE, JUAN DE DIOS

- 1967 -

PRESIDENTE PROF: GUILLERMO HERNANDEZ A.

VOCAL PROF: MARIO MEDINA VALENZUELA

SECRETARIO PROF: ALBERTO CERVANTES A.

1er. SUPLENTE: CARLOS ARANCO S.

2do. SUPLENTE: JOSE GREGORIO SOLORIO M.

**SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA .COMPANIA METALURGICA.
.MEXICO, S.A.**

SUSTENTANTE: JUAN DE DIOS PEREZ CONDE *J. D. Perez Conde*

ASESOR DEL TEMA: MARIO MEDINA V. *Mario Medina V.*

SUPERVISOR TECNICO: ING. ISSAC CONDE S. *I. Conde*

CAPITULO I

EXAMEN FISICO DE LA MATERIA PRIMA.

Consiste en una inspección ocular de la materia prima, que son lingotes de acero vaciado y billets, los cuales traen consigo defectos perjudiciales en mayor o menor grado que hay -- que evitar, rechazándolos para otra clase de productos.

En el vaciado del acero se emplean moldes de material refractario, generalmente rectangulares, con uno de los extremos que es la base del molde mas ancho. Al vaciar el acero fundido lo primero en solidificar casi instantaneamente, es la masa que está en contacto con las paredes del molde, asi como - la parte superior debido al efecto enfriante de la atmósfera; entonces ya tenemos a la masa fundida rodeada de una pequeña capa ya solidificada que recibe el nombre de caspa. La solidificación prosigue desde la superficie hacia el centro del - lingote hasta que el metal queda completamente sólido.

En este cambio de fases líquida a solida hay una contracción del volumen de cada capa sucesiva que se vá solidificando, regtándole metal a la parte media para compensar la disminución - de ese volumen debido a la contracción; o por lo contrario la parte media va alimentando a las capas que se van solidificando, para compensar la disminución de metal por la contracción de volumen. Esto dá por resultado la formación de una cavidad en la parte media del lingote, que comienza abajo de la parte superior solidificada por el efecto de la atmósfera que viene a ser como una tapa de esa cavidad, a la cual comunmente se - le llama rechupe.

Este rechupe es el primer efecto que la contracción de la masa solidificada en el lingote; el segundo efecto se produce

en la superficie: a medida que la primera capa de metal fundido se enfria en las paredes del molde, se contrae y se separa de las paredes dejando una capa de aire entre esa capa de metal que es la caspa y el molde; esta caspa tiene que soportar entonces la masa que todavia no solidifica, y con esto se presentan dos serias desventajas: la primera es que la capa de aire dá lugar a una gran resistencia a la transferencia de calor del metal a las paredes del molde, disminuyendo el efecto enfriante de estas paredes; la segunda desventaja es que la caspa se puede agrietar por la presión interior del metal líquido u produce una aspereza en la superficie del lingote.

A medida que el acero solidifica, los gases que se forman si no encuentran alguna salida, quedan encerrados en cámaras de gas o ampollas causando una estructura porosa en el interior del lingote. En caso de que el acero esté bien desoxidado, la cantidad de gas producida será mucho menor. Hecha esta somera explicación de la solidificación del acero al vaciarlo, hablaremos de los defectos que se presentan en los lingotes, dividiéndolos en dos clases: defectos internos y defectos superficiales.

DEFECTOS INTERNOS.-

Rechupe.- Se debe a dos causas, contracción del volumen del metal fundido a medida que solidifica y encerramiento del gas que al escapar hacia arriba no encuentra salida por haber solidificado esa parte superior o tapa, por el efecto enfriante de la atmósfera.

Al laminarse el lingote que tiene rechupe puede suceder: que se reviente a la manera de una flor, con peligro de los roles del molino; o que ese rechupe se alargue al alargarse el lingote reduciendo su área y persistir hasta el producto final que será

entonces frágil.

Por todo esto hay que eliminarlo, siendo la manera mas común picando con soplete la tapa del lingote, introduciendo despues un alambre para saber su profundidad y cortándolo con el mismo soplete teniendo ya la seguridad del tamaño del rechupe.

Ampollas.-Son pequeñas cavidades que resultan del gas producido y que queda atrapado durante el proceso de solidificación. Los gases disueltos en el acero fundido son: nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrógeno, etc. Prácticamente todo el oxígeno libre con el fierro forma FeO , el cual se combina con el carbón y forma CO . Estos gases son insolubles en el acero solidificado. Estas ampollas usualmente alargadas y en sentido perpendicular a la superficie del lingote.

La ubicación de las ampollas es de gran importancia; si se encuentran muy cerca del rechupe o muy cerca de la superficie del lingote, este se puede fragmentar o reventar cuando se lamina; en cambio si están en el interior de la masa solidificada al laminarse el lingote puede soldar perfectamente sin causar transtorno alguno.

La cantidad de las ampollas solamente se puede controlar en la fundición teniendo cuidado en la composición, desoxidación y degasificación del acero, la temperatura y grado de solidificación y el diseño del molde, todos estos son factores importantes.

Inclusiones.-Son debidas a los productos de desoxidación, entre los cuales el SiO_2 y el Al_2O_3 son los principales, ya que siendo insolubles en el acero y altamente infundibles, forman pequeñas partículas que se mueven con dificultad a través de la masa fundida. Si esas inclusiones se elevan al tope del lingote, al cortar el rechupe son tambien eliminadas, de otro modo son -

tambien el punto inicial de un agrietamiento interno muy difícil de descubrir ya que interrumpen la unidad o continuidad del metal.

La presencia de estas inclusiones, al igual que las ampollas, solamente se controlan en la fundición con una apropiada desoxidación y un procedimiento de vaciado correcto.

Lingotismo.- Se le llama lingotismo a la formación de cristales muy grandes debido a que la solidificación del lingote es muy lenta, dando así tiempo a que los cristales crezcan.

Estos cristales por su tamaño son débiles y según la dirección del crecimiento con respecto a la superficie, forman planos de debilidad que son la causa de fracturas. Sin embargo, si el lingote se lamina con cuidado, pueden evitarse estas fracturas. El lingotismo puede ser reducido al mínimo, por una rápida solidificación del metal fundido y un adecuado diseño del molde.

DEFECTOS SUPERFICIALES.-

Gota Fria.- Se debe al vaciado del metal fundido sobre metal ya solidificado, quedando como capas superpuestas soldadas parcialmente o sin soldar; esto ocasiona que el lingote se fraccione.

Grietas.- Se presentan transversalmente a la dirección del lingote, debidas a un rápido enfriamiento en el proceso de solidificación. Estas grietas además del defecto que en si representan, son un peligro para los roles del molino que pueden romperse.

Cuando estas grietas son longitudinales, se deben a una porosidad excesiva del lingote, el cual al laminarse va uniendo las ampollas y dá lugar a las grietas.

Costras.- Este defecto es originado por un vaciado imperfecto, son salpicaduras que se oxidan rápidamente, no representan un defecto grave.

Hojas o Láminas.- Cuando una salpicadura queda interna en la masa del lingote y cerca de la superficie, al laminarse el lingote esta salpicadura salta en forma de hoja o lámina constituyendo un grave defecto. Cuando esta lámina está cubierta por metal fragmentado, es fácilmente reconocible ya que esa región del metal en comparación con el resto del lingote, es de un color amarillo gris, o sea que esa región se ha oxidado. Estas láminas dan lugar a una fragmentación del lingote o del producto terminado en caso de no descubrirse a tiempo.

Los defectos en los billets, que son lingotes que se laminan y que resultan de una sección cuadrada, vienen a ser casi los mismos que en los lingotes, ya que al laminarse estos y obtener como producto un billet si el primero tiene defectos los tendrá también este último, estando latente el peligro que implican para los subsecuentes productos; como defectos propios de los billets citaremos los siguientes:

Desquebrajaduras.- Son producidas al cortar el billet con cizalla y que debido a una mala composición química tienen lugar.

Puntas Reventadas.- Son debidas a que el corte con cizalla de los billets, se hace ya estando estos frios.

Tanto las desquebrajaduras como las puntas reventadas, pueden originar la rotura de los roles ya que el billet al pasar por ellos se abre.

Acero Quemado.- Al recalentar los lingotes, algunos se recalientan con exceso y al laminarlos dan lugar a que los billets puedan fragmentarse en una relaminación.

CAPITULO II

EXAMEN FISICO DE LOS PRODUCTOS TERMINADOS

Si el Examen físico de la materia prima es de suma importancia, una buena calidad del producto terminado tiene quizá una importancia aún mayor.

Las tolerancias de aceptación de los productos terminados son muy amplias y podemos decir que la inspección no constituye un factor decisivo, no así en los productos terminados en frío, los cuales exigen una precisión de milésimas de pulgada en sus medidas y un control extremadamente riguroso en su aspecto físico.

Los productos terminados en frío comprenden barras de sección circular, cuadrada y hexagonal, de un grado de acero considerado de uso común; incluye aceros de corte libre acabados en frío y aceros al carbono.

Las variaciones en el diámetro especificado o distancia entre caras paralelas no deben exceder de las prescritas en la tabla siguiente, sea el proceso seguido para la obtención de estas barras.

En cuanto a su aspecto físico, deberán estar libres de defectos perjudiciales como son: hojas, grietas, tubo, hélices por efecto del pulido, variaciones de medida, cavernas, poros, aristas defectuosas, etc, etc; y deberán tener una superficie brillante y pulida.

La longitud normal de estas barras es de 6.10 m. como mínimo (20 pies) salvo en el caso en que se especifique el corte a medida determinada.

**TABLA DE TOLERANCIAS EN LAS MEDIDAS PARA BARRAS
DE ACERO AL CARBON TERMINADAS EN FRIO.**

MEDIDA ESPECIFICADA.	Con menos de 0.28% C.	Carbón de .28% a .55%	Carbón arri- ba de .55%
I.- Barras Redondas: Estiradas en Frio y Pulidas o Torneadas.			
Milímetros Pulgadas	mm. Pulg.	mm. Pulg.	mm. Pulg.
Hasta 25.4 mm. 1"	0.051 .002	0.076 .003	0.152 .006
de 25.4 a 50.8 de 1"-2"	0.076 .003	0.092 .004	0.203 .008
de 50.8-101.6 de 2"-4"	0.092 .004	0.127 .005	0.254 .010
de 101.6-152.4 de 4"-6"	0.127 .005	0.152 .006	0.305 .012
de 152.4-196.8 de 6-7 7/8"	.152 .006	0.203 .008	0.406 .016
II.- Barras Redondas: Torneadas, Rectificadas y Pulidas; Es- tiradas en frio, Rectificadas y Pulidas.			
- de 45.5 -de 2 1/2"	0.051 .002	0.051 .002	0.051 .002
de 63.5 y mas. 2 1/2"	0.076 .003	0.076 .003	0.076 .003
III.- Barras Hexagonales: Estiradas en Frio.			
Hasta 7.9 mm. 5/16"	0.051 .002	0.076 .003	0.152 .006
De 7.9 a 25.4 5/16-1"	0.076 .003	0.092 .004	0.203 .008
De 25.4-63.5 1"-2 1/2"	0.092 .004	0.127 .005	0.254 .010
De 63.5-79.3 2 1/2-3 1/8"	.127 .005	0.152 .006	0.305 .012
IV.- Barras Cuadradas: Estiradas en Frio.			
Hasta 7.9 5/16"	0.076 .002	0.092 .004	0.203 .008
De 7.9-25.4 5/16-1"	0.092 .004	0.127 .005	0.254 .010
De 25.4-63.5 1"-2 1/2"	0.127 .005	0.152 .006	0.305 .012
De 63.5-101.6 2 1/2-4"	0.152 .006	0.203 .008	0.406 0.016
NOTA: Estas tolerancias son en medidas abajo ya que las me- didas arriba no se aplican.			

CAPITULO III

CONTROL QUIMICO

Aceros al carbón son los empleados para la clase de productos que nos ocupa, los cuales se componen de los siguientes -- elementos: Fierro como elemento principal, y en orden como sigue: carbono, manganeso, fósforo, azufre, silicio; y en caso de un acero aleado además de los anteriores: cromo, níquel, niobio, vanadio, etc. Cada uno de estos elementos tiene su importancia, ya que influyen en más o en menos en las propiedades físicas y mecánicas del acero, a saber:

Carbono.- Se encuentra bajo la forma de carburo y carbón sin combinar, y en proporciones variadas. A mayor porcentaje de carbón, hay un aumento de dureza en el acero pero con detrimento de la ductilidad y la maleabilidad, y viceversa; a menor porcentaje de carbón, disminuye la dureza y aumentan la ductilidad y la maleabilidad.

Manganeso.- Sustituye al carbono, combinandose las proporciones de ambos, según las cuales depende la dureza final del acero; ayuda también a la desoxidación del acero.

Fósforo.- Es uno de los elementos perjudiciales en el acero, ya que un exceso le comunica gran fragilidad, la cual tiene lugar al sufrir un esfuerzo súbito el acero. Se encuentra bajo la forma de fosfuro de fierro en solución sólida.

En aceros especiales como el de Corte Libre, cuyo contenido en carbón es mínimo, se admite un porcentaje mayor de fósforo.

Azufre.- Es otro de los elementos perjudiciales en el acero; se encuentra bajo la forma de sulfuro de fierro y sulfuro de manganeso. El azufre se combina primeramente con todo el manga-

neso existente, des de esto el restante se combina con el fierro.

Se dice que un metal es agrio, cuando debido al sulfuro de fierro se hace quebradizo a la temperatura de forjado, y aún cuando disminuye este defecto por adición de manganeso, el sulfuro de manganeso forma filamentos frágiles y dan por resultado grietas en el metal.

Al igual que con el fósforo, en aceros de Corte Libre se tolera una cantidad mayor de azufre pero con gran disminución en el contenido de carbón.

Silicio.- Según sea el porcentaje de silicio en el acero, aumenta su resistencia cuando está en una cantidad de 2.0%; de ahí en adelante esa resistencia empieza a disminuir; con un contenido de 2.3% a 2.4% el silicio resulta innecesario en aceros de aplicaciones normales.

Cromo.- Aumenta la dureza; en una proporción con el carbón de aproximadamente 1 a 17, hace al acero inoxidable.

Níquel.- Da por resultado un acero de gran ductilidad y tenacidad con un aumento de sus propiedades físico-mecánicas.

Vanadio.- Le imparte al acero una gran resistencia sobre todo al choque, se utilizan estos aceros como herramientas.

SELECCION DE LA MUESTRA.- En primer lugar se hará gala de una absoluta limpieza. Los billets o lingotes que son la materia prima se sujetan al análisis químico; la muestra para dicho análisis se tomará una de cada vaciada, y siendo el análisis de comprobación, deberá concordar con el análisis de colada que manda el proveedor de materia prima.

Se selecciona un lingote o billet que deberá estar libre de

inclusiones o incrustaciones en su superficie, se limpia perfectamente la parte de donde se sacará la muestra, la cual se obtiene taladrando el lugar seleccionado y recoge la rebaba, teniendo cuidado de no empolvarla o ensuciarla y procurando - que esté libre de escoria, la cual se puede diferenciar por su color mas oscuro, siendo el de la rebaba brillante. Con estas precauciones evitaremos que el contenido de carbón aumente.

Previamente, el recipiente en donde se recoge la rebaba se habrá marcado con los datos suficientes, como son la fecha, - procedencia, clase de acero, número de la muestra, etc, que - la identifique plenamente.

En caso de no saberse el número de la vaciada, se tomarán muestras como sigue:

	No. Mínimo de muestras.
Hasta 5 toneladas -----	3
De 5 a 10 toneladas -----	4
De 10 a 15 toneladas -----	5
Mas de 15 toneladas -----	6

Aparte del taladrado, se puede obtener la muestra cepillando la sección transversal del lingote o billet; aunque no es - muy aconsejable esta práctica ya que hay que cepillar toda la superficie de esa sección hasta cierta espesor, para llegar - al lugar en donde se pueda obtener una rebaba completamente limpia; además de que en los lingotes se puede encontrar el rechupé en su parte superior y porosidades en la inferior, y en el - billet no siempre vienen bien cortados sus extremos, si no que presentan irregularidades.

CAPITULO IV

ESPECIFICACION DE LOS ACEROS

Composiciones Químicas.- Las diferentes especificaciones químicas de los aceros empleados para los productos que se fabrican, corresponden a las normas establecidas por S.A.E.

Estas normas establecen límites químicos nominales en los análisis de "colada", sujetos a variaciones en los análisis de comprobación dentro de ciertas tolerancias especificadas.

El sistema de designación de los aceros según las normas de la S.A.E se describen brevemente para su mejor comprensión.

Sistema de Designación de los Aceros S.A.E.- Para identificar la composición de los aceros S.A.E., se usa un sistema numérico que hace posible usar números en los dibujos de taller, -- planos, diseños, etc, que describen parcialmente la composición del material cubierto por tal número.

El primer dígito indica el tipo al cual pertenece; según esto: 1 indica un acero al carbón, 2 un acero al níquel, 3 un -- acero al cromo-níquel.

En el caso de aleaciones simples de acero, el segundo dígito indica el porcentaje del primer elemento aleado. Usualmente los dos o tres últimos dígitos indican el porcentaje aproximado del contenido de carbón en puntos, o centésimos por ciento.

Según lo anterior, "2340" indica un acero al níquel de aproximadamente 3.0% de níquel (3.25% a 3.75%), y 0.40% de carbón - (0.38% a 0.43%).

En algunos casos, con objeto de evitar confusiones, se ha encontrado necesario desistirse de este sistema de identificar la composición de aleación aproximada de un acero, variando el segundo y tercer dígito del número.

En las tablas siguientes se encuentran los números básicos para las diferentes aleaciones de acero.

Designación numérica de las series básicas.

Tipo de Acero	Numerales y Dígitos.
Aceros al Carbón.	1XXX
Carbón Simple.	10XX
Corte Rápido .	11XX
Aceros al Manganeso.	13XX
Aceros al Níquel.	2XXX
3.00 % de Níquel.	23XX
5.00 % de Níquel.	25XX
Aceros al Cromo - Níquel	3XXX
1.25 % de Níquel -- 0.60 % de Cromo.	31XX
1.75 % de Níquel -- 1.00 % de Cromo.	32XX
3.50 % de Níquel -- 1.50 % de Cromo.	33XX
Resistentes al Calor y a la corrosión	30XX
Aceros al Molibdeno.	4XXX
Carbón - Molibdeno	40XX
Cromo - Molibdeno.	41XX
Cromo - Níquel - Molibdeno.	43XX
Níquel - Molibdeno con 1.75 % de Níquel.	46XX
Níquel - Molibdeno con 3.50 % de Níquel.	48XX
Aceros al Cromo	5XXX
Bajo Cromo.	51XX
Medio Cromo.	52XXX
Resistentes al Calor y a la Corrosión.	51XXX
Aceros al Vanadio.	6XXX
Aceros al Silicio - Manganeso.	9XXX

COMPOSICIONES QUIMICAS.

Las composiciones químicas de los aceros que aparecen en las siguientes tablas, se pueden aplicar para hornos de Hogar Abierto o Eléctrico. Cuando se aplique a Aceros de Horno Eléctrico, el fósforo y el azufre será de 0.025 % como máximo.

LIMITES DE COMPOSICION QUIMICA POR CIENTOS.

Num. S.A.E.	C	Mn.	P máx.	S máx.
<u>Aceros al Carbón.</u>				
1006	0.08 - máx.	0.25-0.40	0.040	0.050
1008	0.10 - máx.	0.25-0.50	0.040	0.050
1009	0.15 - máx.	0.60 máx.	0.040	0.050
1010	0.08 - 0.13	0.30-0.60	0.040	0.050
1012	0.10 - 0.15	0.30-0.60	0.040	0.050
1015	0.13 - 0.18	0.30-0.60	0.040	0.050
1016	0.13 - 0.18	0.60-0.90	0.040	0.050
1017	0.15 - 0.20	0.30-0.60	0.040	0.050
1019	0.15 - 0.20	0.70-2.00	0.040	0.050
1020	0.18 - 0.23	0.30-0.60	0.040	0.050
1025	0.22 - 0.28	0.30-0.60	0.040	0.050
1030	0.28 - 0.34	0.60-0.90	0.040	0.050
1035	0.32 - 0.38	0.60-0.90	0.040	0.050
1040	0.37 - 0.44	0.60-0.90	0.040	0.050
1045	0.43 - 0.50	0.60-0.90	0.040	0.050
1041	0.36 - 0.44	1.35-1.65	0.040	0.050
1050	0.48 - 0.55	0.60-0.90	0.040	0.050
1052	0.47 - 0.55	0.20-1.50	0.040	0.050
1060	0.55 - 0.65	0.60-0.90	0.040	0.050
1080	0.75 - 0.88	0.60-0.90	0.040	0.050
1095	0.90 - 1.03	0.30-0.50	0.040	0.050

LIMITES DE COMPOSICION QUIMICA POR CIENTO.

Núm. S.A.E.	C.	Mn.	P.	S
<u>Aceros de Corte Rápido</u>				
1112	0.13 - máx.	0.70 - 1.00	0.07 - 0.12	0.16 - 0.23
1113	0.13 - máx.	0.70 - 1.00	0.07 - 0.12	0.24 - 0.33
1214	0.15 - máx.	0.80 - 1.20	0.04 - 0.09	0.28 - 0.35
Hogar Abierto.			Máximo.	
1115	0.13 - 0.18	0.60 - 0.90	0.040	0.08 - 0.13
1117	0.14 - 0.20	1.00 - 1.30	0.040	0.08 - 0.13
1128	0.23 - 0.29	0.70 - 1.00	0.040	0.08 - 0.13
1137	0.32 - 0.39	1.35 - 1.65	0.040	0.08 - 0.13
1140	0.37 - 0.44	0.70 - 1.00	0.040	0.08 - 0.13
1144	0.40 - 0.48	1.35 - 1.65	0.040	0.24 - 0.33
1145	0.42 - 0.49	0.70 - 1.00	0.040	0.04 - 0.07
1151	0.48 - 0.55	0.70 - 1.00	0.040	0.08 - 0.13

NOTA: Los dos primeros Aceros de esta tabla pueden ser producidos por los procesos Bessemer Básico, Hogar Abierto o Básico Eléctrico.

VARIACIONES DE LOS LIMITES ESPECIFICADOS EN LAS TABLAS ANTERIORES?

PERMITIDOS EN LOS ANALISIS DE COMPROBACION.

ELEMENTO	Límite máximo del valor especificado en por ciento.	Variación % sobre el límite max. o bajo Lim. min.
Carbón	Hasta 0.25 inclusive	0.02
	Entre 0.25 y 0.55 inclusive	0.03
	De mas de 0.55	0.04
Manganeso	Hasta 0.90 inclusive	0.05
	Entre 0.90 a 1.65 inclusive	0.06
Fósforo	Acero de Hogar Abierto hasta 0.05 inclusive	0.008
	Acero Bessemer hasta 0.12 inclusive	0.01
Azufre	Hasta 0.06 inclusive	0.008

NOTA: Por lo que se refiere al Fósforo y al Azufre es el límite máximo.

CAPITULO V.

ENSAÑO DE MATERIALES.

Consiste en ensayar las pruebas físicas mas comunes, para poder conocer la resistencia del material, de modo que no se haga trabajar mas alla de ciertos límites especificados. Todas estas pruebas se llevan acabo en frio y son las que se describen a continuación:

Prueba de Resistencia a la Tracción.- Se requieren probetas especiales del material a ensayar, esta probeta es como la que se indica en la figura número 1.

Con esta prueba se determinan cuatro propiedades muy importantes a saber:

Límite Elástico.- Es la garga que soportará la probeta siⁿ que se deforme permanentemente.

Límite de Ruptura.- Es el esfuerzo necesario para romper la probeta.

Alargamiento.- Es el aumento de longitud de la unidad de longitud, expresada como un porcentaje de la unidad de longitud original.

Estricción.- Es la diferencia entre el área de la sección transversal mas pequeña que se mide, y el área de la sección transversal original, expresada como un porcentaje del área de la sección transversal original.

Para esta prueba, se emplean máquinas especiales de las cuales existen varios tipos, pero su principio es el mismo; dos planchas metálicas, una fija y otra con movimiento ascendente y descendente por medio de dos rodillos soportes accionados por un mecanismo hidráulico; dos escalas graduadas indican la carga por unidad de superficie; las dos planchas tienen en su parte central unos juegos de mordazas que permiten aprisionar a las

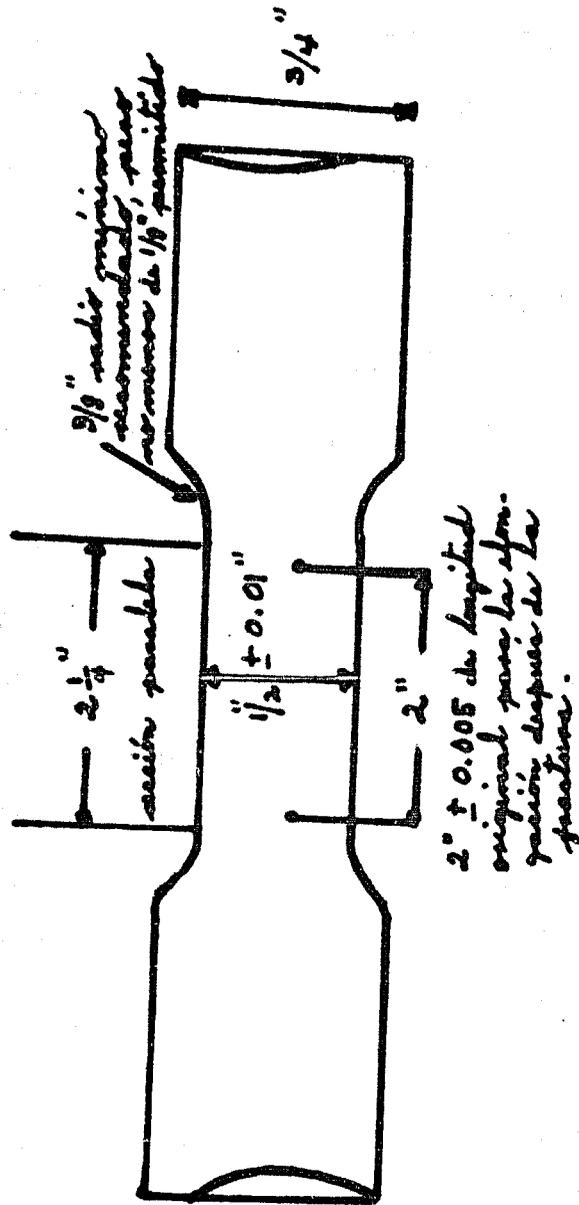


Fig. 1 Probeta redonda estandar para el ensayo a la Tracción, de uso común en el ensayo para metales.

probetas para su ensayo. El movimiento de la plancha móvil para su ensayo es ascendente, y se regula por medio de una palanca que nos marca velocidades de ascenso en centímetros o pulgadas por minuto.

Técnica del Ensayo.- Teniendo ya la probeta de las dimensiones requeridas, se le marcan en la superficie para ensayo, 2" u 8", según el ensayo a efectuar y se coloca entre las mordazas de la máquina, la cual se pone a funcionar con su circuito de lubricación abierto para el mejor funcionamiento de todas sus partes, después de un tiempo conveniente que puede ser de dos minutos como mínimo, se cierra el circuito y se vá aplicando la velocidad según la clase de acero que se está ensayando. Como término medio se aplican velocidades de 0.2" por minuto. Se observa entonces que en las escalas graduadas se empiezan a mover las agujas de que van provistas cada una de las escalas, indicándonos a cada instante la carga por unidad de superficie.

Cuando se ha llegado al límite elástico, las agujas se detiene, una de ellas empieza a retroceder ya que directamente conectada al mecanismo nos indica que momentáneamente ha disminuído la fuerza aplicada al no encontrar resistencia en la probeta; la otra aguja es testigo y queda inmóvil marcando el límite elástico. Cuando la probeta vuelve a presentar resistencia, la aguja que ha retrocedido vuelve a avanzar y se empareja con la aguja testigo, y juntas nos siguen indicando la carga por unidad de superficie, hasta llegar al límite de ruptura, en que la testigo vuelve a quedar fija marcándolo, y la otra vuelve a retroceder indicando que la probeta poco a poco va dejando de presentar resistencia hasta que se rompe.

y entonces en ese momento la aguja cae bruscamente.

Los límites Elástico y de Ruptura nos lo marcan las agujas en las escalas según hemos descrito, la obtención del Alargamiento y de la Estricción es como sigue:

Alargamiento.- Se reconstruye la probeta juntando los dos pedazos, y se miden las marcas hechas cuando antes del ensayo se marcaron 2" u 8". Para mejor comprensión pondremos un ejemplo:

Antes del ensayo marcamos: $L = 2"$

Después del ensayo medimos: $L' = 2.383"$

El porcentaje de Alargamiento será entonces:

$\frac{L' - L}{L} \times 100$. sustituyendo valores:

$$\frac{2.383 - 2.000}{2.000} \times 100 = 19.15 \%$$

En algunos modelos de aparatos, existe un calibrador especial que nos dá directamente el porcentaje de alargamiento al medir la probeta.

Estricción.- Se denomina también Reducción de Area. Juntos los dos pedazos de la probeta rota, se mide con un micrómetro de puntas el menor diámetro obtenido, que suele ser aquel donde precisamente ocurrió la fractura.

Por ejemplo:

Area inicial correspondiente al diámetro de 0.50" según nos lo indica el dibujo de la fig. 1: $A' = 0.2$ pulg. cuadradas.

Se obtiene un area ----- $A'' = 0.11$ pulg. cuadradas.

$$\frac{A' - A''}{A'} \times 100 = \frac{0.2 - 0.11}{0.2} \times 100 = 45.0\%$$

Diámetro inicial ----- 0.5" Diámetro obtenido ----- 0.375"

radio ----- 0.25" radio ----- 0.1875"

radio cuadrado ----0.0625²

radio cuadrado --- 0.025²

A' = r -----0.02²

A'' = r ----- 0.11²

Flexión.- Es otra de las pruebas que se efectúan en la misma máquina en donde se ensaya la resistencia de los materiales, industrialmente viene a ser la Prueba de Doblado.

Consiste en aplicar una fuerza en el centro de la barra, que tiene una longitud determinada, de modo que se flexione a lo máximo, hasta que los dos extremos sean paralelos formando una U; indicándonos una excelente ductilidad cuando una barra puede flexionarse hasta ese extremo, sin que su fibra de elongación muestre agrietamientos o defectos de cualquier especie.

Para esta prueba se emplean mandriles de un diámetro proporcionado al diámetro de la barra que se ensaya, siendo los que originan el doblado y alrededor de los cuales los extremos de la barra van formando la "U". Esta prueba es típica de la varilla corrugada y no es común en flechas estiradas en frío.

Ensayo de DUREZA.

Definición: se entiende por Dureza en los aceros, a la resistencia que presentan a la penetración de cuerpos mas duros.

DUREZA ROCKWELL.- Se opera con un aparato de precisión que mide automáticamente el incremento de la profundidad lineal de penetración, de penetradores de varios tipos, a los que se les aplica una carga inicial de 10 Kg., y despues una carga total máxima de 60, 100 o 150 Kg., según el tipo de penetrador y el ensayo que se quiera hacer.

Como penetradores, se emplean dos principalmente; una bola de acero de 1/16" de diámetro, y un penetrador de diamante esférico.

La lectura de dureza Rockwell se lee en una carátula fija -

sobre el vástago al que vá adaptado el penetrador, cuyo movimiento vertical es cambiado en uno de rotación de la aguja indicadora de la carátula. Esta aguja marca en unas escalas la dureza obtenida, escalas que son arbitrarias y dependientes del tipo de penetrador y carga máxima empleada.

Las escalas más comunes para nuestros ensayos, son la escala B en números rojos, con penetrador de bola de acero de 1/16" de diámetro y 100 Kg. de carga.

La escala C en números negros, con penetrador de diamante y 150 Kg. de carga.

Técnica del Ensayo de Dureza Rockwell.- A medida que se describa el ensayo, se hará una somera descripción del mecanismo de la máquina Rockwell.

Supondremos una muestra, cuya dureza corresponderá a la escala C.

La probeta se coloca en un yunque que viene a ser el tope de un tornillo elevador. Accionando este tornillo, se pone en contacto la probeta con el penetrador, que en nuestra suposición tendrá que ser el de diamante; una aguja pequeña en la carátula cuando a llegado a una marca determinada nos indica que se ha descargado sobre la probeta la carga inicial de 10 Kg. que nos sirve para sujetarla. Una aguja mayor y que es la principal, a girado en tanto, en el sentido de las agujas de un reloj y ha quedado casi vertical. Hacemos girar la escala de la carátula por medio de una cremallera de modo que ésta aguja mayor coincida con una marca que nos indica el origen de las escalas. Después se acciona una palanca que vá aplicando progresivamente la carga restante de 140 Kg., a una velocidad dependiente de un freno hidráulico cuyo pistón tiene unos orificios

que se han ajustado previamente; mientras la carga se aplica, la aguja mayor ha girado en esta ocasión contrariamente a las agujas del reloj. Con la misma palanca se retira la carga adicional de 140 Kg. y una vez mas la aguja mayor vuelve a girar en el sentido de las agujas del reloj, deteniéndose finalmente - en número de la escala que viene a ser el de la dureza deseada.

DUREZA BRINELL.- Para la determinación de esta dureza, existen tambien varios tipos de aparatos cuyo principio es el mismo, y consiste en una presión hidráulica que fuerza a una bola de acero de determinado diámetro contra la probeta por medio - de una carga estática que depende de la bola de acero empleada.

Las bolas de acero o penetradores mas empleados son de 5 y 10 mm. de diámetro, siendo cada uno de tres calidades diferentes: de acero al carbón de alto contenido de éste elemento; de acero al carbón, endurecido por tratamiento térmico; de carburo de tungsteno.

Las cargas que generalmente se emplean son de 3000 Kg. aplicados durante 10 segundos como mínimo y cuando las probetas -- son de hierro o acero, y 500 Kg. aplicados durante 30 seg. -- como mínimo para aleaciones no ferreas. En ambos casos se emplea la bola de acero de 10 mm. de diámetro. Carga de 750 Kg. y bola de acero de 5 mm. para materiales de dureza similar al acero.

Teóricamente se obtendrá el mismo número de dureza Brinell modificando el diámetro de la bola y la carga, siempre y cuando exista una variación proporcional de la carga con respecto al cuadrado del diámetro de la bola.

Hecho el ensayo de penetración, se mide en la probeta el - diámetro de la huella dejada por la bola de acero por medio de

un microscopio, cuyo tubo ocular lleva una escala graduada en décimas de milímetro, en una extensión de 7 mm., pudiéndose -- estimar hasta 0.05 mm.

El número de dureza Brinell se obtiene como sigue:

$$\text{Dureza Brinell} = \frac{P \text{ (carga en Kg.)}}{A \text{ (área de la huella en mm.)}}$$

D es el diámetro del penetrador en mm y D' es el diámetro de la huella en mm.

El área de la huella se obtiene, suponiendo que es un casquete esférico perteneciente a una esfera cuyo radio es el de la bala.

Conversión de cifras Rockwell a cifras Brinell.- Se emplean ecuaciones semiempíricas, validas para las escalas Rockwell B y C, cuya exactitud es de $\pm 10\%$ y son las siguientes:

$$\text{Dureza Brinell} = \frac{130 - \text{Dureza Rockwell B}}{7300}$$

$$\text{Dureza Brinell} = \frac{1,420.000}{(100 - \text{Dureza Rockwell C})}$$

Relación entre Dureza Brinell y Resistencia a la Tracción.-

Una de las ventajas del ensayo Brinell, es que a partir de el, se puede determinar aproximadamente la Resistencia a la Tracción de un acero, no habiendo necesidad de hacer el ensayo de Resistencia a la Tracción cuando la pieza o muestra no se puede destruir.

Se emplea un coeficiente o constante que se multiplica por la cifra de dureza Brinell; como ya dijimos, se obtiene un valor aproximado ya que, siendo un ensayo mecánico en que se efectúa, y como la mayoría de esta clase de ensayos, mucho tiene de empírico y convencional; esto se refiere únicamente a constantes relacionadas a los aceros al carbón, al níquel y al cromo-níquel.

CAPITULO VI

EXAMEN MACROSCOPICO.

Este tipo de examen, viene a ser un complemento de suma importancia para los análisis químicos y los exámenes físicos de ensayo de materiales, aún cuando se determina independientemente de ellos. Debido a la heterogeneidad de los metales, el análisis químico no nos dice más allá de donde se tomó la muestra para su determinación, por lo que, recurriendo a un examen macroscópico, éste nos puede dar información acerca de la distribución de las inclusiones en la sección total de la pieza, la uniformidad de la estructura, defectos de fabricación como pudieran ser grietas superficiales o internas, heterogeneidades cristalinas que dependieron de la forma de solidificación del metal, heterogeneidades químicas por la presencia de impurezas o segregación de determinados elementos, heterogeneidades mecánicas que introducen tensiones permanentes en el metal observando fracturas producidas que nos dicen acerca de la resistencia, ductilidad, tamaño de grano, etc, de la pieza metálica, etc., y así, tomando una pieza representativa, o muestra de determinado acero, y sometiéndola a un macro-ataque, nos podemos dar cuenta de sus características a simple vista o ayudándonos con una lupa, pudiendo examinar secciones relativamente grandes, detectando defectos que por ejemplo, aparecen por primera vez en determinada operación, y la eliminación de los cuales en esa operación representa un considerable ahorro en la continuidad de la totalidad del proceso, que produciría piezas defectuosas o de mala calidad.

La técnica del examen macroscópico es muy sencilla y de gran rapidez, no despreciando la práctica y la experiencia aunadas a

un amplio criterio que debe de tener el operador, para la interpretación de los resultados de su examen.

El examen macroscópico consiste en seleccionar la muestra y pulir con esmeril y lijas adecuadas la superficie a examinar, sometiéndola después a la acción de reactivos químicos. El examen puede hacerse a simple vista o con lupa, o empleando microscopios de no más de 10 aumentos.

Se procede de la siguiente forma: se selecciona la probeta, preferiblemente si abarca la sección total de la pieza y según sea la finalidad del examen, se procede a separar la superficie a examinar desbaratándola y puliéndola y finalmente atacándola.

Cada una de estas fases de preparación son muy importantes, teniéndose cuidado de que en el desbaste y pulido no haya un calentamiento excesivo de la superficie, ya que se altera la estructura superficial, y desde este momento y por esta causa podremos interpretar erróneamente los resultados; en cuanto al ataque, el reactivo atacante debe ser tal, que ponga de manifiesto el mayor número de defectos y características superficiales, o que sea el precisamente adecuado para mostrarnos aquello que nosotros queremos observar, teniendo el cuidado de aplicarlo a la temperatura debida y por el tiempo necesario.

Efectuando el ataque en las mejores condiciones posibles, la probeta se lava perfectamente con agua corriente, se sumerge en alcohol y se seca, ya sea con aire caliente o en una placa limpia y caliente, quedando así lista para la observación.

Como reactivos de ataque, se emplean generalmente soluciones diluidas de ácidos inorgánicos, siendo de uso universal la solución de HCl al 50 % y 70 °C, y por el tiempo que depende del acero que se vá a tratar, siendo el máximo de 30 a 45 min, y -

soluciones de diversas sales.

ALGUNOS RECIIVOS DE ATAQUE PARA EL EXAMEN MACROSCOPICO

Acido Clorhídrico (HCl conc. 50c.c. y Agua 50c.c.).- Se emplea caliente o a ebullición durante 10 o 15 min. según el tipo de acero. Pone de manifiesto la segregación, porosidad, grietas, profundidad de zona endurecida en los aceros herramienta, huellas blandas, etc.

Mescla Acida. (HCl 38cc Acido Sulfúrico 12 cc y agua 50 cc)-
Se emplea también en caliente, durante 15 a 45 min. Actúa muy bien en aceros inoxidable.

Acido Nítrico.- (Acido Nítrico conc, 25 cc y agua 75 cc).-
Se emplea en frío para superficies grandes, tales como cortes de lingotes, que no se pueden calentar convenientemente.

Persulfato Amónico.- (10 g. de Persulfato de amonio en 90 cc de agua).- Se aplica con un algodón absorbente; pone de manifiesto la estructura granular en casos de excesivo crecimiento del grano, también pone a la vista la recristalización de las soldaduras,

CAPITULO VII

EXAMEN MICROSCOPICO

El examen microscópico se desarrolla en la siguiente forma: en primer lugar y en el resto de todas las operaciones debemos hacer gala de una limpieza si se quiere, exagerada.

Selección de la probeta.- Se debe de tener cuidado de que al cortarla, esta operación se lleve a cabo refrigerando convenientemente el lugar del corte, de modo que la estructura original no se altere debido al calor desarrollado por el frotamiento; de este modo obtenemos una probeta cuyas medidas mas apropiadas vienen a ser de unos 12 mm. de altura por 20 a 25 mm. en una de las direcciones de la superficie a pulir.

Para la preparación de la probeta, empezamos por un desbaste burdo, consistiendo únicamente en hacer plana la superficie a observar mediante una muela de grano fino, sumergiendo constantemente la probeta en agua fria de modo de no permitir ningún calentamiento.

En seguida pasamos al desbaste intermedio en el cual empleamos papel de esmeril, el cual siempre procurado sea de la mejor calidad, recomendando el Buehler en sus números del 1 al 3 ceros. Tomamos el papel número 1 y colocándolo sobre una superficie perfectamente plana, por ejemplo un cristal, procedemos a desbastar la superficie moviendo la probeta longitudinalmente de un lado a otro del papel de modo que las rayas producidas sean paralelas; tambien se usa un disco giratorio que sirve de base, está conectado a un motor que trabaja a una velocidad estandar en este caso hay que tener cuidado de poner la probeta en un solo sentido. Habiendo borrado la impresión de la muela, pasamos al papel num. 0, en el cual se repite la operación an-

terior procurando que las rayas sean perpendiculares a las anteriores, de modo que al borrarse éstas, nos indicará que ya podemos pasar al desbaste final el cual se lleva a cabo con papeles num. 00 y 000 sucesivamente, operando siempre en la misma forma, de modo de obtener rayas nuevas paralelas para pasar de un papel a otro.

En estas operaciones procuraremos no presionar demasiado la probeta contra el papel, pues mucha presión produce rayas profundas difíciles de eliminar, además de que hay un sobre calentamiento que motiva la distorsión de la superficie metálica que puede penetrar a gran profundidad alterando la estructura.

Realizando estas operaciones y cuando en la probeta quedan las rayas producidas por el último papel, pasamos a la operación de pulido.

El pulido se verifica con abrasivos que generalmente son polvos, pastas o suspensiones acuosas. Nosotros escogemos la Alúmina u óxido de aluminio en sus dos formas cristalográficas: alfa y gama, el cual es un abrasivo universal y de resultados satisfactorios. Junto con los abrasivos viene el empleo de paños, de los cuales hay de varias clases y calidades, siendo el paño de mesa de billar de un tipo intermedio, de conocimiento común y de muy fácil obtención.

Tomamos un paño que tiene la forma del disco y lo colocamos en el mismo lo humedecemos y aplicamos la alúmina num. 1 cuyo tamaño de partículas es el mayor, y frotando la probeta longitudinalmente de un lado a otro del paño y en dirección perpendicular a las rayas dejadas por el último desbaste. Este es el pulido preliminar, el cual produce rayas pertenecientes a las

partículas de alúmina.

Pasamos al pulido final en el cual se utilizan Alúmina num. 2 alfa y num. 3 gama, y consiste en eliminar las rayas del pulido preliminar, uniformar la superficie y dejarla libre de rayas. Cuando ésto se ha logrado, la superficie tratada es un espejo, el cual se acentúa más frotando la probeta sobre el paño húmedo pero sin usar abrasivo, por un corto tiempo. Se lava la probeta con agua caliente corriente, se frota con un algodón, se vuelve a lavar esta vez con alcohol y se seca si es posible en chorro de aire caliente o agitándola al aire. Se ataca enseguida.

Es conveniente que estas operaciones de desbaste u pulido, se hagan observaciones en el microscopio en cada una de las fases; de este modo, se vá uno dando cuenta de la preparación de la probeta, de la profundidad de las rayas, de defectos que pudieran descubrirse, de inclusiones que si interesa observarlas se tiene cuidado de preservar, etc.

Ataque.- Los reactivos para un ataque metalográfico se componen de ácidos orgánicos, inorgánicos y álcalis, y sustancias mas complejas disueltas en agua, en disolventes orgánicas, etc de modo que su actividad y comportamiento se relacionan con su concentración en iones hidrógeno u oxhidrilos y ademas de que sea capaz de manchar con preferencia a uno o mas constituyentes estructurales de la probeta. De este modo, al aplicar un reactivo a la probeta, se manifiestan los detalles estructurales por una destrucción selectiva de la superficie, es decir, las diferentes fases en un acero, o los platts diferentemente orientados de cada grano o cristal tienen velocidades distintas de disolución, o bien, el reactivo colorea de diferente manera a

las distintas fases presentes o deposita productos de reacción en zonas de determinada composición química.

En caso de tratarse de aleaciones polifásicas, el ataque puede decirse es de naturaleza electro-química, debido a la diferencia de potencial de los distintos constituyentes. Los constituyentes de potencial más elevado se comportan anódicamente y se disuelven con mayor rapidez, de modo que éstos constituyentes quedan más rugosos y profundos y oscuros que los constituyentes catódicos, que no se alteran o que se alteran muy poco por el ataque y quedan en relieve, y a la observación microscópica son más brillantes.

Procedemos a elegir el reactivo adecuado sumergiendo en él a la probeta, agitamos ligeramente y permanecemos así por un determinado tiempo, que depende del reactivo elegido, de lo que se quiere ver en la probeta y de los aumentos a los que vá a hacerse la observación. Hecho lo cual se retira la probeta y rápidamente se la introduce en un chorro de agua, caliente de preferencia, se eliminan con alcohol las gotas de agua y se seca agitando al aire o con un chorro de aire caliente; de este modo se ha detenido momentaneamente la acción del reactivo, y la probeta ha quedado lista para la observación microscópica en la cual según el reactivo elegido podemos definir las características estructurales, así como el tamaño de grano, la forma y distribución de las fases que componen la aleación, inclusiones y segregaciones, en fin, todo aquello que modifica las propiedades mecánicas y el comportamiento general del metal, siendo posible aún conocer toda la historia del tratamiento mecánico y térmico que ha sufrido el material de la probeta.

Con éstas observaciones se puede predecir el comportamiento del material cuando se le utilice en un fin determinado.

En la siguiente relación se dá una lista de reactivos empleados en el ataque para la observación microscópica.

Reactivos de Ataque para el Examen Microscópico de Hierros y Aceros.

1.- Acido Nítrico.(Nital): se compone de 1 a 5 cc. de ácido nítrico incoloro y 110 cc. de alcohol etílico o metílico al 95 % o absoluto.

Aumentando el contenido de ácido nítrico, aumenta la velocidad de ataque y disminuye la selectividad. El reactivo Num. 2 es en general mejor. Al 4 % y con alcohol amílico es útil para observar bordes de granos y obtener contraste en materiales bajos en carbono. El tiempo de ataque es desde pocos segundos a un minuto.

Se utiliza en aceros al carbón: primero para ennegrecer la perlita y producir el contraste entre distintas colonias; segundo para poner de manifiesto bordes de ferrita; tercero para diferenciar ferrita de martensita. La solución al 1% puede también emplearse para los fines indicados en el reactivo num. 2.

2.- Acido Pícrico.(Picral): se compone de 4 g. de ácido pícrico y 100 cc. de alcohol etílico o metílico al 95% o absoluto (se debe de usar el alcohol absoluto solamente cuando el ácido contiene 10% o mas de humedad).

Las soluciones más diluidas pueden ser más útiles en ciertos casos. No pone de manifiesto los bordes de granos de ferrita tan fácilmente como el num. 1.

Tiempo de ataque desde pocos segundos a un minuto o más.

Se utiliza para todos los aceros al carbón: recocidos, normalizados, templados, y revenidos, esferoidizados austemplados.

Para todos los aceros de baja aleación.

3.- Ácidos Clorhídrico y Pírico. (Vilella): se compone de 5 cc. de ácido clorhídrico, 1 g. de ácido pírico y 100 cc. - de alcohol etílico o metílico al 95% o absoluto.

Los mejores resultados se obtienen cuando se reviene la muestra 15 min. a $205-245^{\circ}\text{C}$.

Se utiliza para poner de manifiesto el tamaño de grano austenítico y en aceros templados y revenidos.

4.- Ácido Crómico: se compone de 10 g. de óxido crómico y 100 cc. de agua destilada.

Se emplea electrolíticamente: la probeta es el ánodo, el cátodo es de acero inoxidable o de platino: los electrodos se separan de 20 a 25 mm., de 6 V.; tiempo de ataque de 30 a 90 seg. dependientes de la probeta.

Se utiliza para estructuras variadas excepto bordes de granos de ferrita. Ataca a la cementita muy rápidamente; a la austenita más lentamente; y a la ferrita y fosfuro de hierro si a caso muy lentamente.

5.- Teñido por el Calor: Consiste solamente en emplear calor.

La probeta, pulida, seca y limpia, se calienta sobre una plancha hasta $205-370^{\circ}\text{C}$., con su superficie preparada hacia arriba.

El tiempo y la temperatura tienen efectos decisivos. Se puede emplear baño de arena o de metal fundido.

La perlita se colorea primero, siguiéndola la ferrita; la cementita se afecta menos, y el fosfuro de hierro menos todavía. especialmente útil para fundiciones.

BIBLIOGRAFIA

Tratado de Química Inorgánica.

E. H. Riesenfeld.

Manual para Metales.

The American Society for Metals.

Manual S.A.E.

Society of Automotive Engineers.

Manual para Productos de Acero.

American Iron & Steel Institute.

Manual A.S.T.M.

American Society for Testing Materials.

Fundamentos de la Práctica Metalográfica.

George L. Kehl.